

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PESQUISA OPERACIONAL E
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL
**CURSO DE MESTRADO EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA
COMPUTACIONAL**

Italo dos Santos Ferreira

**HEURÍSTICAS PARA O PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DE
HORÁRIOS ESCOLARES NOS CURSOS TÉCNICOS DO INSTITUTO
FEDERAL FLUMINENSE NO CAMPUS DE BOM JESUS DE
ITABAPOANA**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ
Agosto de 2014**

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PESQUISA OPERACIONAL E
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL
**CURSO DE MESTRADO EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA
COMPUTACIONAL**

Italo dos Santos Ferreira

**HEURÍSTICAS PARA O PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DE
HORÁRIOS ESCOLARES NOS CURSOS TÉCNICOS DO INSTITUTO
FEDERAL FLUMINENSE NO CAMPUS DE BOM JESUS DE
ITABAPOANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional da Universidade Cândido Mendes – Campos /RJ, para obtenção do grau de MESTRE EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL.

Orientador: Prof. Dalessandro Soares Vianna D.Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ
Agosto de 2014

ITALO DOS SANTOS FERREIRA

**HEURÍSTICAS PARA O PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DE
HORÁRIOS ESCOLARES NOS CURSOS TÉCNICOS DO INSTITUTO
FEDERAL FLUMINENSE NO CAMPUS DE BOM JESUS DE
ITABAPOANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional da Universidade Cândido Mendes – Campos /RJ, para obtenção do grau de MESTRE EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL.

Avaliada em ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dalessandro Soares Vianna, D.Sc. - orientador
Universidade Federal Fluminense
Universidade Cândido Mendes

Prof. Ítalo de Oliveira Matias, D.Sc.
Universidade Cândido Mendes

Prof. Marcilene de Fátima Dianin Vianna, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense

Prof. Carlos Bazílio Martins, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Agosto de 2014

Dedico este trabalho a minha família e *in memoriam* a meu pai.

AGRADECIMENTOS

À Deus, à minha família, aos grandes amigos do mestrado pelo apoio incondicional em todos os momentos, à todos os meus amigos que oraram por mim para a realização desse sonho.

“A Bíblia, toda a Bíblia é nada mais do que a Bíblia, é a religião da igreja de Cristo.”

Charles Haddon Spurgeon

RESUMO

HEURÍSTICAS PARA O PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DE HORÁRIOS ESCOLARES NOS CURSOS TÉCNICOS DO INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE NO CAMPUS DE BOM JESUS DE ITABAPOANA

Este trabalho apresenta heurísticas para o problema de programação de horários escolares nos cursos técnicos do instituto federal fluminense no campus de Bom Jesus de Itabapoana. O trabalho levanta as regras de criação de horário específicas do campus Bom Jesus, faz um estudo bibliométrico sobre *school timetabling* e aborda a implementação de diferentes heurísticas para o problema local abordado. Para o levantamento das restrições, um questionário de possíveis restrições foi elaborado. Este questionário foi aplicado à instituição para a definição das restrições principais da mesma. A partir destas restrições locais, quatro heurísticas foram desenvolvidas, as quais são baseadas nas heurísticas GRASP e ILS. Um aplicativo protótipo foi desenvolvido para a geração de relatórios e para os trabalhos de inserção, exclusão e alteração de dados de entrada para as heurísticas. Testes de execuções foram realizados e avaliados. Esse projeto visa facilitar a criação de horários escolares no IFF Bom Jesus, substituindo o método manual por um método automático e conseqüentemente mais rápido. Além disso, essa pesquisa enriquece a discussão sobre o problema *school timetabling* nos Institutos Federais.

PALAVRAS-CHAVE: Heurísticas; Problema de programação de horários escolares; Instituto Federal Fluminense; Campus Bom Jesus de Itabapoana; ILS; GRASP.

ABSTRACT

HEURISTIC FOR THE PROBLEM OF SCHEDULES SCHEDULE OF SCHOOL IN THE COURSES OF THE FLUMINENSE FEDERAL INSTITUTE IN THE CAMPUS OF BOM JESUS DE ITABAPOANA

This paper presents heuristics for the problem of scheduling school in technical courses of the Fluminense Federal Institute of Bom Jesus de Itabapoana campus. The work raises the specific rules for the creation of time of Bom Jesus campus, make a bibliometric study on school timetabling and discusses the implementation of different heuristics for the local problem addressed. For lifting the restrictions a questionnaire was prepared for possible restrictions. This questionnaire was administered to the institution for the definition of the main constraints of the same. From these local restrictions four heuristics have been developed which are based on the GRASP and ILS metaheuristics. A prototype application was developed for the generation of reports and to the work of insertion, deletion and modification of input data for the heuristics. Executions of tests were conducted and evaluated. This project aims to facilitate the creation of school hours in IFF Bom Jesus, replacing the manual method for a automatic method and consequently faster. Furthermore, this research enriches the discussion about the school timetabling problem in Federal Institutes.

KEYWORDS: Heuristics; Problem of school scheduling; Fluminense Federal Institute; Campus Bom Jesus do Itabapoana; ILS; GRASP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resultados totais da pesquisa por base.....	22
Figura 2. Autores do Grupo 1 da base Scopus.....	24
Figura 3. Autores do Grupo 2 da base Scopus.....	25
Figura 4. Autores do Grupo 1 da base ISI.....	25
Figura 5. Autores do Grupo 2 da base ISI.....	25
Figura 6. Anos do Grupo 1 da base Scopus.....	27
Figura 7. Anos do Grupo 2 da base Scopus.....	27
Figura 8. Anos do Grupo 1 da base ISI.....	28
Figura 9. Anos do Grupo 2 da base ISI.....	28
Figura 10. Países do Grupo 1 da base Scopus.....	29
Figura 11. Países do Grupo 2 da base Scopus.....	29
Figura 12. Países do Grupo 1 da base ISI.....	30
Figura 13. Países do Grupo 2 da base ISI.....	30
Figura 14. Metodologia utilizada.....	37
Figura 15. Solução gerada.....	44
Figura 16. Solução gerada para o dia de sexta-feira.....	44
Figura 17. Fragmento da Matriz de Alocação de Professores.....	50
Figura 18. Representação de Agrupamentos de solução.....	54
Figura 19: Troca de três agrupamentos.....	57
Figura 20. Aplicativo com principais telas.....	58
Figura 21. Janela de Cadastro de Turmas.....	59
Figura 22. Janela de Cadastro de Professores.....	59
Figura 23. Janelas de edição de turmas e de visualização de professores.....	60
Figura 24: Gráfico de resultados das heurísticas.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Expressões pesquisadas nas bases e resultados encontrados.....	20
Tabela 2. Tempos por modalidade e turno no dia.....	39
Tabela 3. Fragmento de solução de sexta-feira para a turma 1.....	44
Tabela 4. Fragmento de solução de sexta-feira para a turma 2.....	45
Tabela 5. Fragmento de solução de sexta-feira para a turma 3.....	46
Tabela 6. Fragmento de solução de sexta-feira para a turma 4.....	47
Tabela 7. Restrições avaliadas pela função de avaliação.....	52
Tabela 8. Valores resultantes do experimento.....	58
Tabela 9. Penalidades atingidas pelas heurísticas executadas.....	59
Tabela 10: Aproveitamento das heurísticas na resolução das restrições.....	61

LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1: Pseudocódigo do GRASP.....	19
Algoritmo 2: Pseudocódigo do ILS.....	20
Algoritmo 3: Pseudocódigo do algoritmo construtivo totalmente guloso.....	52
Algoritmo 4: Pseudocódigo do algoritmo construtivo guloso-aleatorizado.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 MOTIVAÇÃO.....	11
1.2 QUESTÃO DE PESQUISA.....	13
1.3 OBJETIVO.....	13
1.3.1 Objetivo geral.....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 PROBLEMA DE GERAÇÃO DE HORÁRIO ESCOLAR.....	15
2.2 heurísticaS UTILIZADAS.....	16
2.2.1 GRASP – Greedy Randomized Adaptive Search Procedure.....	16
2.2.2 ILS – Iterated Local Search	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 PESQUISA BIBLIOMÉTRICA.....	19
3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS AMOSTRAS DAS BASES.....	21
3.2.1 Por autor.....	21
3.2.2 Por ano.....	25
3.2.3 Por país.....	27
3.3 ANÁLISE DOS ARTIGOS DAS PRINCIPAIS DISCUSSÕES.....	30
3.3.1 Primeiras discussões.....	30
3.3.2 Últimas discussões.....	31
3.3.3 Discussões sobre GRASP e ILS.....	33
4 METODOLOGIA.....	35
4.1 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS.....	36
4.2 LEVANTAMENTO DE PESQUISA BIBLIOMÉTRICA SOBRE O TEMA.....	36
4.3 HEURÍSTICAS UTILIZADAS.....	36
4.4 PROTÓTIPO PARA VALIDAÇÃO DO SISTEMA	37
5 HEURÍSTICAS PROPOSTAS.....	38
5.1 CODIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO.....	38
5.2 MATRIZ DE ALOCAÇÃO DE PROFESSORES.....	46
5.3 ALGORITMO CONSTRUTIVO.....	47
5.4 BUSCA LOCAL.....	49
5.5 FUNÇÃO DE AVALIAÇÃO.....	50
5.6 ALGORITMOS PROPOSTOS.....	51
5.6.1 Algoritmo ILS proposto.....	52
6 APLICATIVO.....	53
7 EXPERIMENTOS.....	57
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
8.1 CONCLUSÕES.....	59
8.2 TRABALHOS FUTUROS.....	59
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
Apêndice A.....	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

O Instituto Federal Fluminense (IFF) possui, dentre outros, um campus localizado na cidade de Bom Jesus do Itabapoana. Apesar de recentemente integrado ao IFF, o campus possui uma longa história de existência, sempre servindo a comunidade e as regiões próximas com uma educação de qualidade, primeiramente como Colégio Estadual Ildefonso Bastos Borges, depois como um campus incorporado pela Universidade Federal Fluminense(UFF) por mais de 30 anos, e atualmente como mais uma unidade do IFF. Sua característica no âmbito das ciências agrárias o destaca, possuindo este uma produção agroindustrial de iogurte, queijo, presunto entre outros produtos, que atendem não somente a instituição, mas também a comunidade local. Oferece os cursos técnicos de agroindústria, agropecuária, informática e meio ambiente nas modalidades integrado e concomitante, além do curso superior de Ciência e Tecnologia em Alimentos.

No IFF, a modalidade integrado compreende dois turnos de aula divididos entre o ensino técnico e médio. No campus Bom Jesus esses turnos são manhã e tarde. Turmas da modalidade concomitante têm somente um turno de aula reservado para o ensino técnico, seja o turno manhã, tarde ou noite.

O campus Bom Jesus do IFF tem por finalidade promover a habilitação profissional em nível médio no âmbito das ciências agrárias. Seus recursos são utilizados na prática de atividades de extensão e em atividades de aprendizagem, formando novos contingentes de profissionais na região para promover o interesse do homem pela terra, tendo em vista a rapidez com que se vinha verificando a migração de mão-de-obra rural para as grandes cidades. Sua ação educacional se amplia quando executa projetos de ensino-produção voltados para a tentativa de solucionar problemas ambientais da região. SITIO IFF(2013).

Assim como outras instituições, o campus faz seus horários escolares de forma manual, o que toma um tempo relativamente grande que pode durar dias e até

semanas. Muitas instituições já possuem algum sistema que gere os seus horários automaticamente, de acordo com algumas regras específicas próprias.

A geração automática de horários escolares é uma questão bem discutida em todo o mundo. Esse tipo de problema se encaixa na família *timetabling*. Assim como outros problemas, este também tem diversas ramificações e diversos trabalhos a respeito de cada ramificação. O *timetabling* se divide nas categorias *university timetabling*, voltado para universidades e *school timetabling* ou *high schools timetabling*, voltado para escolas. A ramificação *university timetabling*, por sua vez, se divide em *course timetabling*, que trata da programação dos horários do curso universitário propriamente dito e *examination timetabling* ou *exam timetabling*, que é mais voltado para os exames da universidade.

Shaerf (1999) diz que diversas variantes do problema de geração de horário têm sido propostas na literatura, as quais diferem umas das outras com base no tipo de instituição envolvida (universidade ou escola) e do tipo de restrições. Ela classifica o problema em três classes principais:

1. *school timetabling*: A autora define o termo como uma programação semanal para todas as classes de uma escola, evitando colisões de professores em duas classes ao mesmo tempo, e vice-versa. Esse trabalho trata essa modalidade do problema;

2. *course timetabling*: A autora diz que é a programação semanal para todos os encontros de um conjunto de cursos universitários, minimizando a sobreposição desses encontros dos cursos com os alunos comuns; e

3. *examination timetabling*: Segundo a autora é o agendamento para os exames de um conjunto de cursos universitários, evitando a sobreposição de exames de cursos com os alunos comuns.

Geração automática de horários em universidades (*course timetabling*) e em escolas (*school timetabling*) possuem regras diferentes. Comumente, em uma universidade, várias turmas podem se juntar para serem ministradas em uma mesma disciplina. Esse tipo de ajuntamento não acontece em escolas de ensino médio, onde cada turma é considerada um caso a parte a se tratar, mesmo tendo na

grade as mesmas disciplinas. Atualmente, diversos sistemas de geração de horário são propostos tanto para universidades, quanto para escolas.

A problemática em aplicar uma solução pronta ao campus Bom Jesus (IFF), reside no fato de que as regras utilizadas para a confecção dessas soluções são particulares de cada instituição. Segundo Deng *et al.* (2011), não há um modelo de criação de grade universal que pode ser aplicada em toda parte. As restrições em diferentes universidades e academias podem ser muito diferentes.

A criação manual de horários hoje no IFF Campus Bom Jesus é feita seguindo as seguintes regras básicas: 1) Primeiramente são feitos os horários dos cursos técnicos integrados e depois dos concomitantes, com os tempos livres restantes dos professores depois da alocação nos cursos integrados; e 2) Os horários de almoço devem ser contemplados nos horários.

O fato do curso técnico integrado ter prioridade na alocação de tempos em relação ao concomitante na geração de horários, produz uma regra local e forte, que torna o conjunto de restrições do campus diferente dos demais modelos. Levando isso em consideração, é possível concluir que a aplicação de alguma solução pronta ao IFF Bom Jesus se torna inviável, de modo que a implementação de um novo sistema baseado nas regras específicas do campus Bom Jesus é necessário para minimizar o tempo gasto com a geração de horários.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

A pesquisa que esse trabalho propõe, visa responder a seguinte questão:

Como elaborar os horários escolares dos cursos técnicos do Instituto Federal Fluminense, no campus localizado em Bom Jesus de Itabapoana, de forma rápida e eficiente?

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um sistema de geração automática de horários para os cursos técnicos do IFF de Bom Jesus, através da aplicação de uma heurística que trabalhará com o conjunto de restrições específicas da instituição.

1.3.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, podem-se destacar:

1. Levantar as regras de criação de horário específicas do campus Bom Jesus;
2. Fazer um estudo bibliométrico sobre *school timetabling*;
3. Implementar diferentes heurísticas para o problema abordado; e
4. Desenvolver um sistema computacional que fará uso da melhor heurística desenvolvida.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho se organiza da seguinte forma: no Capítulo 2, é apresentado um referencial teórico sobre a geração de horário escolar e as heurísticas que foram implementadas. Uma bibliometria sobre o tema *timetabling* se encontra no Capítulo 3. No Capítulo 4 a metodologia utilizada no trabalho é apresentada. A implementação das heurísticas e as estruturas de dados utilizadas por elas são apresentadas no Capítulo 5. No Capítulo 6, o aplicativo utilizado para a inserção de dados e geração de relatórios referentes a execução das heurísticas é apresentado. Os experimentos feitos são apresentados no Capítulo 7. Por fim, o Capítulo 8 trata das considerações finais do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PROBLEMA DE GERAÇÃO DE HORÁRIO ESCOLAR

A programação de horários escolares pode ser definida como uma alocação de aulas de turmas, em um determinado período de tempo, podendo ter intervalos entre esses períodos. Essas alocações são feitas para as disciplinas da grade, respeitando determinadas regras, chamadas restrições que visam considerar preferências e situações que são imutáveis para a instituição, respeitando a carga horária de cada disciplina. A programação de horários é feita geralmente por semana e são válidas para períodos de tempo específicos que podem ser de seis meses (semestres), três meses (trimestres), ou outros períodos.

Tripathy (1992) conceitua a programação de horários educacionais como uma programação que trata da alocação de certo número de encontros entre alunos e professores por certo período. Cada um destes encontros é frequentado por grupos específicos de alunos e um professor. Cada encontro pode também exigir certos recursos diferenciados (equipamentos de projeção, computadores, etc). A alocação deve ser feita considerando a disponibilidade dos professores, dos recursos e, se necessário, de outros fatores.

Segundo Schaerf (1999), a programação de horários educacionais é como o agendamento de uma sequência de aulas entre professores e alunos em um período prefixado de tempo, normalmente dentro de uma semana, e satisfazendo a um conjunto de restrições de vários tipos.

As restrições visam satisfazer alunos e professores, além de organizar os recursos para que a aula ocorra. Esses últimos dizem respeito a salas de aula, artifícios audiovisuais, laboratórios específicos de determinadas disciplinas, etc. Fen, Safaai e Hashim (2009) dizem que na geração de uma grade de horário automatizada, as restrições podem ser divididas em dois tipos: restrições fortes e fracas. Restrições fortes têm maior prioridade e devem ser satisfeitas sob quaisquer circunstâncias, enquanto as restrições fracas devem ser atendidas sempre que

possível e a violação delas não fará com que o horário gerado perca a viabilidade. Geralmente, os horários podem ser considerados inviáveis se as restrições fortes são violadas.

Essa classificação das restrições quanto à intensidade é o principal motivo das divergências de modelos de programação de horários nas diversas instituições, onde as classificações de restrições vão variar para cada local. Pode-se exemplificar, considerando a restrição relacionada ao fato de os professores não poderem ministrar por mais de duas horas seguidas. Em alguns lugares ela pode ser uma restrição forte, que não pode ser quebrada, pois o local entende que o professor deve ter um descanso a cada duas horas, porém, em outro local, essa restrição pode ser fraca, ou seja, o professor pode ministrar por mais de duas horas pois a carga horária semanal é pequena.

Souza, Maculan e Ochi (2001) dizem que a geração de horários escolares é um problema de difícil generalização, em virtude da diversidade de regimes educacionais e das características de cada instituição de ensino, o que torna cada caso praticamente ímpar.

2.2 HEURÍSTICAS UTILIZADAS

As heurísticas utilizadas para a realização desse trabalho são o GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) e o ILS (*Iterated Local Search*).

2.2.1 GRASP – *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*

O GRASP (Feo; Resende, 1995; Resende; Ribeiro, 2003) é uma estratégia composta por múltiplos inícios, usada primeiramente na otimização de funções contínuas e em otimização combinatória. Cada iteração do GRASP consiste em duas fases: construção de uma solução inicial e busca local. Na primeira fase, a construtiva, é criada uma lista restrita de candidatos (LRC) que é formada pelos

elementos cuja incorporação à solução parcial leva aos menores custos incrementais. Estes elementos podem ser, por exemplo, lotes de produção, lotes de estoque, ou seja, valores para as variáveis de decisão. O GRASP é executado por um número máximo de iterações, o qual corresponde à quantidade de soluções factíveis encontradas pela fase construtiva em que foram aplicadas a busca local. Dentre estas soluções geradas é escolhida aquela de melhor valor.

A tradução da expressão “*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*” (GRASP) para a língua portuguesa é “Procedimento de busca adaptativa aleatorizada gulosa”. A sigla da heurística fala exatamente das suas características e de como ela funciona.

Barbosa e Souza (2011) utilizaram GRASP no seu trabalho por apresentar soluções mais eficientes que outros métodos de construção. O pseudocódigo do GRASP é apresentado no Algoritmo 1.

Passo 01: Enquanto condição de parada não satisfeita faça:
Passo 02: Crie uma solução aleatoriamente de forma construtiva;
Passo 03: Melhore esta solução pelo método de busca local;
Passo 04: Se esta solução é a melhor até então conhecida, então:
Passo 05: Guarde essa solução;
Passo 06: FimSe.
Passo 07: FimEnquanto.

Algoritmo 1: Pseudocódigo do GRASP.

2.2.2 ILS – *Iterated Local Search*

Lourenço, Martin, e Stützle (2003) definem o ILS como um método de busca iterativa que consiste em perturbações da solução, objetivando principalmente a diversificação da busca para desse modo, visitar diferentes ótimos locais. O pseudocódigo do ILS é apresentado no Algoritmo 2.

Passo 01: Crie uma solução inicial;
Passo 01: Melhore esta solução pelo método de busca local;
Passo 01: Enquanto condição de parada não satisfeita faça:
Passo 02: Perturbe a solução corrente;
Passo 02: Melhore esta solução perturbada pelo método de busca local;
Passo 04: Se esta solução é a melhor até então conhecida, então:
Passo 05: Guarde essa solução;
Passo 06: FimSe.
Passo 07: FimEnquanto.

Algoritmo 2: Pseudocódigo do ILS.

Saviniec *et al* (2013) utilizaram três algoritmos baseados em ILS para resolver o problema de *High School Timetabling* e afirmam que o componente chave destes métodos heurísticos reside na utilização de duas estruturas de vizinhança poderosas.

O algoritmo ILS (Lourenço; Martin; Stutzle, 2003) envolve a aplicação repetida de um algoritmo de busca local aplicada às soluções encontradas pelos candidatos de um processo mais amplo de pesquisa que envolve uma caminhada aleatória tendenciosa através do espaço de busca. O algoritmo funciona através da construção de uma solução inicial, que é refinada usando uma estratégia de busca local. O laço de repetição do algoritmo envolve três etapas: uma perturbação da solução corrente; aplicação da busca local na solução perturbada; e um critério de aceitação que decide se a solução (ótimo local) obtida pelo processo de busca local deve ou não substituir a solução corrente.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PESQUISA BIBLIOMÉTRICA

Em pesquisas feitas para buscar artigos e outros documentos para utilizar como base para um trabalho sobre *school timetabling*, percebeu-se que não haviam muitas referências relativas ao assunto na pesquisa realizada. Por isso, surgiu a necessidade de criar uma bibliometria específica para essa ramificação do problema de *timetabling*, objetivando saber o quanto desse assunto é abordado na literatura.

As técnicas utilizadas para realizar essa Bibliometria foram baseadas nos trabalhos de Pereira (2012) e Costa (2010). A pesquisa foi realizada no dia 15/07/2013, nas bases de pesquisa *Scopus* e *ISI Web of Knowledge*.

Primeiramente foi feita a pesquisa com as palavras chave do problema principal de programação de horários: "*timetable OR timetabling*". Foram encontrados na base *Scopus* 2513 resultados e na base ISI, 1553. Foi feito um refinamento da pesquisa com a expressão "*problem*", resultando em: "*(timetable OR timetabling) AND problem*". Os resultados obtidos na base *Scopus* foram 872 e na base ISI, 605.

Na etapa posterior foram utilizadas outras expressões para refinar os resultados: "*school*" e "*class OR teacher*", expressões também muito utilizadas na abordagem do tema. As expressões usadas na próxima etapa foram combinações das expressões anteriores (*timetable*, *timetabling* e *problem*) com estas supracitadas nesse parágrafo.

Essas expressões foram buscadas em cada base. Cada pesquisa referente às expressões está sendo referida como grupo, para facilitar o entendimento ao longo do trabalho.

1. Grupo 1: "*(timetable OR timetabling) AND problem AND school*"; e

2. Grupo 2: "*(timetable OR timetabling) AND problem AND (class or teacher)*";

Esses dois grupos de resultados, referentes às duas expressões de refinamento para cada base, tinham resultados em comum, sendo esses retirados da contagem. Dessa forma foi obtida a quantidade de registros encontrados em cada base de pesquisa. Foram encontrados então da base Scopus 96 resultados e na base ISI, 40. Os resultados em comum das duas bases foram 97.

Um total de 233 artigos foram encontrados somando os exclusivos da base Scopus (96), os exclusivos da base ISI (40) e os artigos em comum entre as bases (97). A Tabela 1 mostra toda a pesquisa feita e a Figura 1 mostra o resultado final da contagem dos artigos.

Tabela 1. Expressões pesquisadas nas bases e resultados encontrados.

Nível	Expressão	Quantidade na Base ISI	Quantidade na Base Scopus
Primeira expressão	"(timetable OR timetabling)"	1553	2513
Refinamento com "problem"	"(timetable OR timetabling) AND problem"	605	872
Grupo 1: Conjunto refinado com "school"	"(timetable OR timetabling) AND problem AND school"	81	108
Grupo 2: Conjunto refinado com "class OR teacher"	"(timetable OR timetabling) AND problem AND (class OR teacher)"	82	128
Artigos únicos depois da retirada dos artigos em comum em cada grupo obtido		137	193

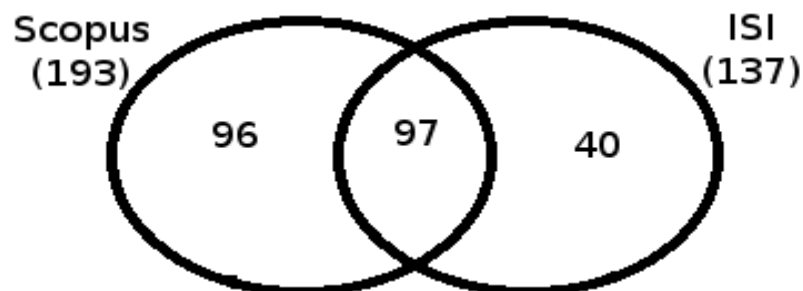


Figura 1. Resultados totais da pesquisa por base.

Foi feita uma análise dos títulos dos 233 artigos únicos restantes; os trabalhos cujos títulos não condiziam com o tema em questão foram retirados da pesquisa. As expressões existentes nos títulos em ordem alfabética foram: *"Child Labour"*; *"Coloring Problem"*; *"Colorings Of Trees"*; *"Commercial"*; *"Cortisol"*; *"cultural"*; *"Emotional"*; *"Ethnic"*; *"Exam"*; *"Faculty"*; *"Family Change"*; *"Financial"*; *"Fluid Mechanics"*; *"Health Policy"*; *"Hospital"*; *"Integrated Clinical Learning"*; *"Interdisciplinary Teaching"*; *"Labelling Problems"*; *"Mandarin Chinese"*; *"Military Training"*; *"Network Optimization"*; *"Oil"*; *"Permutation Graphs"*; *"Physical Exercise"*; *"Policies"*; *"Preference-Based Conference Scheduling"*; *"Probabilistic Alternative"*; *"Project Scheduling Under Resource"*; *"Quadratic"*; *"Resource Allocation"*; *"Social"*; *"Sports"*; *"State Of The Art Technology"*; *"Teacher Training"*; *"Therapeutic"*; *"Time-Varying Networks"*; *"Traffic"*; *"Train"*; *"Universidad"*; *"Universities"*; *"University"*; *"Vehicle"*; *"Course"*.

Os dados restantes somaram 147 itens. Os trabalhos que não tinham todo o seu conteúdo disponível para *download* foram retirados, restando 65 documentos.

Esses trabalhos disponíveis para *download* foram ordenados por ano. O núcleo de partida conta com 20 artigos, entre as primeiras discussões sobre o tema, as últimas discussões sobre o tema e trabalhos envolvendo o GRASP e ILS. Estes artigos serão a base para uma revisão literária sobre o assunto (ver Seção 3.3).

Os resultados dos grupos de pesquisa referentes às expressões de refinamento, de acordo com a Tabela 1, terão seus dados analisados em gráficos por autor, ano e país. Na base ISI, dos 81 resultados do grupo 1 e 82 do grupo 2; e na base Scopus, dos 108 resultados do grupo 1 e 128 do grupo 2; podem-se destacar as estatísticas mostradas na próxima seção deste documento.

3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS AMOSTRAS DAS BASES

3.2.1 Por autor

Os gráficos das figuras 2 a 5 a seguir mostram no eixo x os dados dos autores e no eixo y, as quantidades publicadas de cada um deles, de acordo com a base e o grupo a que eles pertencem.

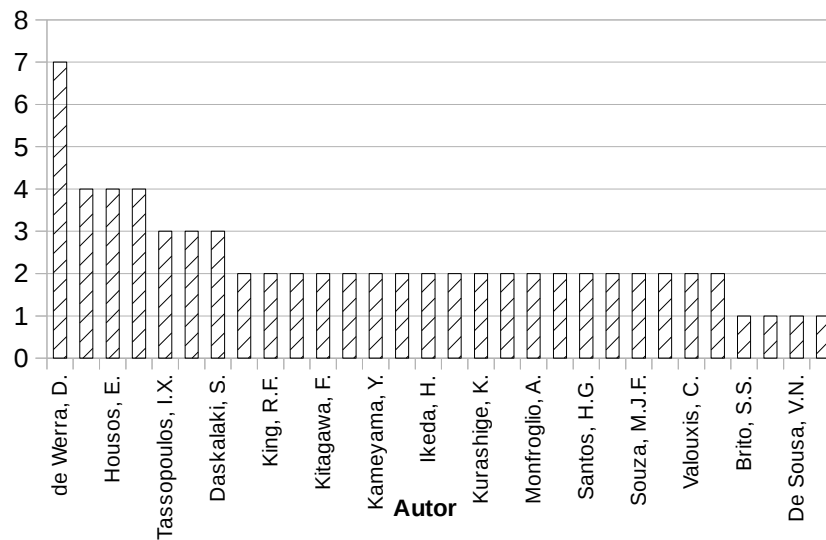


Figura 2. Autores do Grupo 1 da base Scopus.

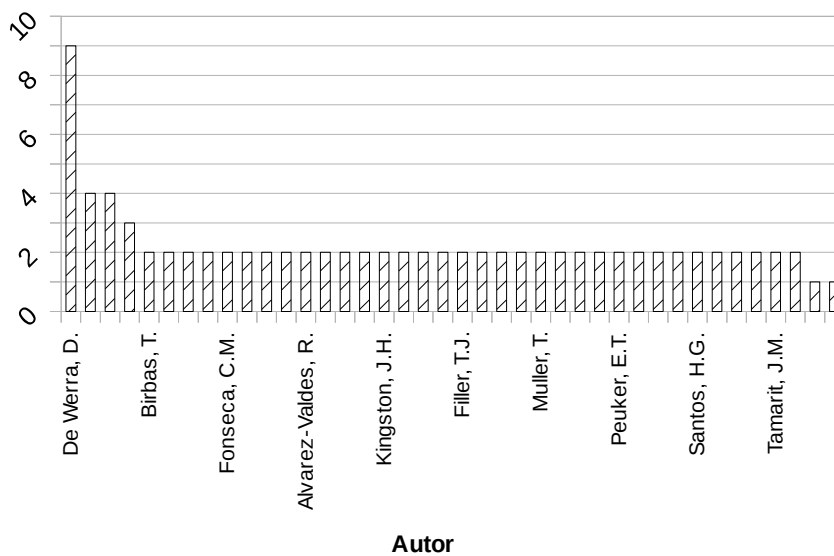


Figura 3. Autores do Grupo 2 da base Scopus.

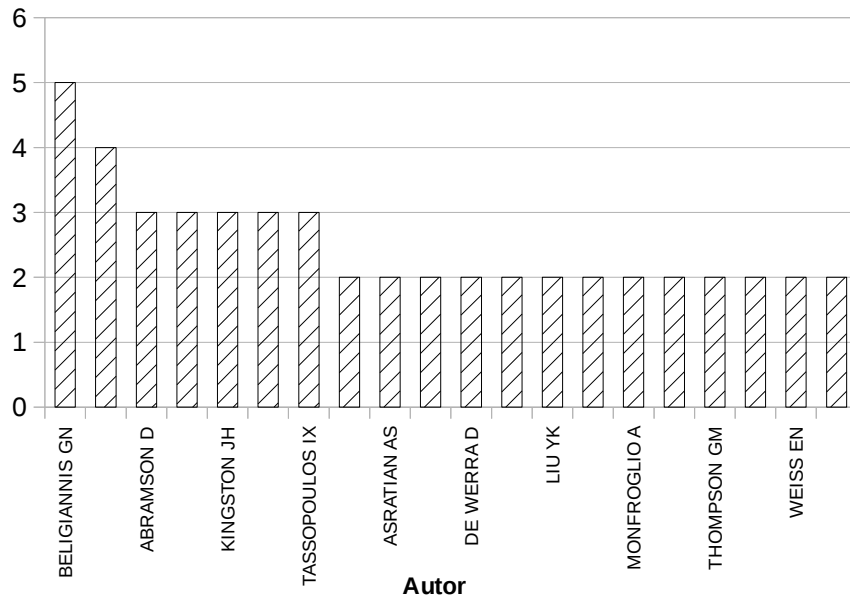


Figura 4. Autores do Grupo 1 da base ISI.

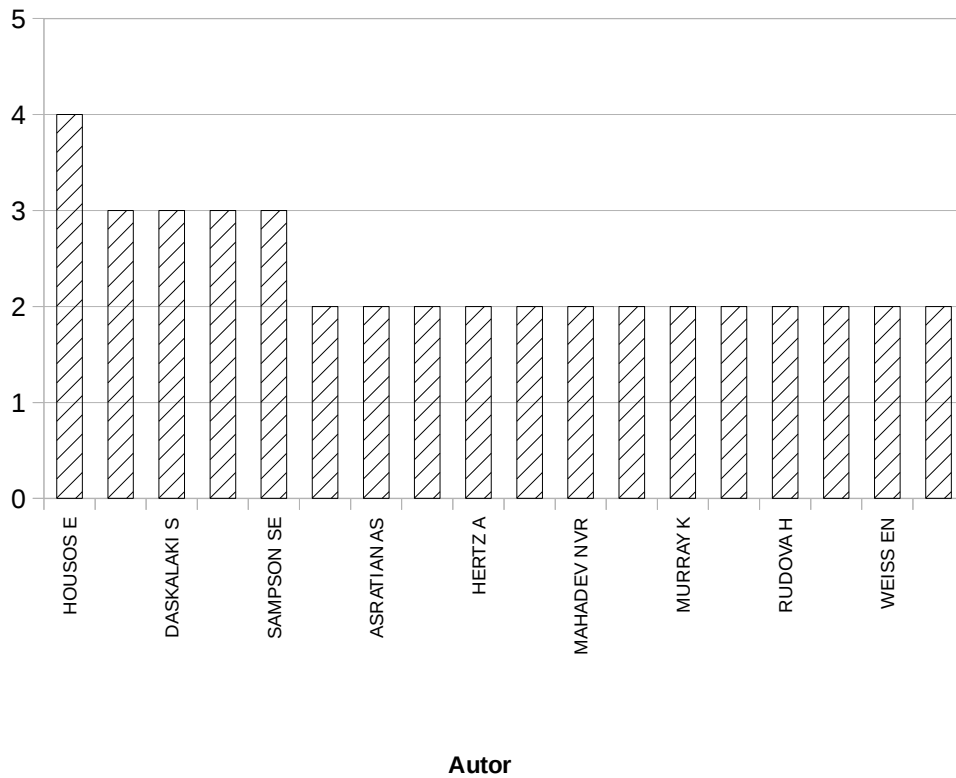


Figura 5. Autores do Grupo 2 da base ISI.

Os autores brasileiros encontrados na pesquisa mostram como o tema está sendo discutido no Brasil. Dentre esses resultados dos grupos de pesquisa, podem-se destacar:

1. Dos 108 resultados do grupo 1 da base Scopus, foram encontrados 5 trabalhos de autores brasileiros, mostrados abaixo:

1. Brito, S.S., Fonseca, G.H.G., Toffolo, T.A.M., Santos, H.G., Souza, M.J.F. / A SA-VNS approach for the High School Timetabling Problem / 2012.
2. Moura, A.V., Scaraficci, R.A. / A GRASP strategy for a more constrained School Timetabling Problem / 2010.
3. De Sousa, V.N., Moretti, A.C., De Podestá, V.A. / Programação da grade de horário em escolas de ensino fundamental e médio / 2008.
4. Santos, H.G., Ochi, L.S., Souza, M.J.F. / An efficient tabu search heuristic for the school timetabling problem / 2004.
5. Sigulem, D.M., Morais, T.B., Cuppari, L., Franceschini, S.C.C., Priore, S.E., Camargo, K.G., Gimenez, R., Bernardo, V., Sigulem, D. / A web-based distance education course in nutrition in public health: Case study / 2001.

2. Dos 128 resultados do grupo 2 da base Scopus, foram encontrados 4 trabalhos de autores brasileiros, mostrados abaixo:

1. Santos, H.G., Uchoa, E., Ochi, L.S., Maculan, N. / Strong bounds with cut and column generation for class-teacher timetabling / 2012.
2. Moura, A.V., Scaraficci, R.A. / A GRASP strategy for a more constrained School Timetabling Problem / 2010.
3. De Sousa, V.N., Moretti, A.C., De Podestá, V.A. / Programação da grade de horário em escolas de ensino fundamental e médio / 2008.
4. Santos, H.G., Ochi, L.S., Souza, M.J.F. / An efficient tabu search heuristic for the school timetabling problem / 2004.

3.2.2 Por ano

Os gráficos das figuras 6 a 9 mostram no eixo x os dados dos anos e no eixo y, as quantidades publicadas em cada um deles. Os resultados da base ISI são apresentados ordenados por quantidade e não por ano.

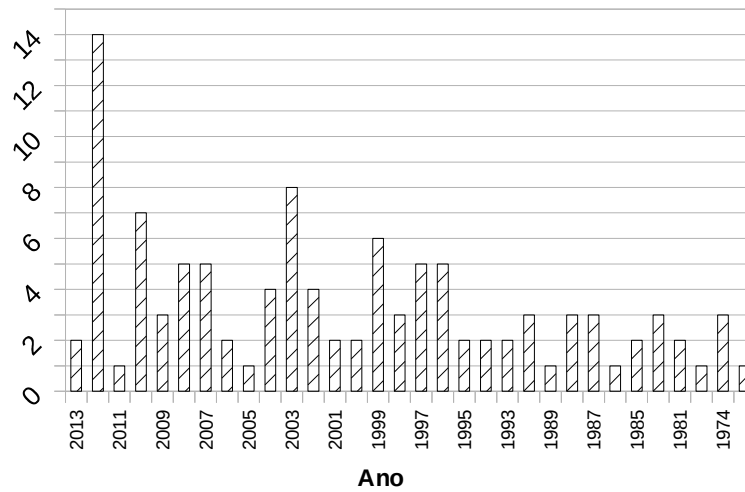


Figura 6. Anos do Grupo 1 da base Scopus.

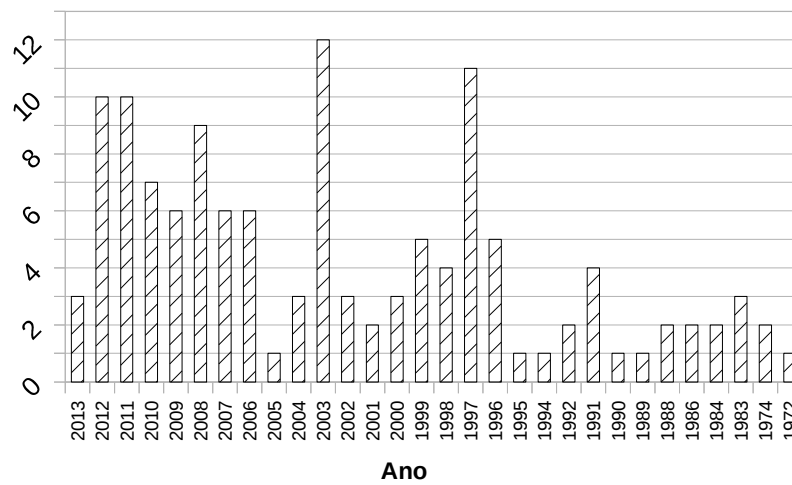


Figura 7. Anos do Grupo 2 da base Scopus.

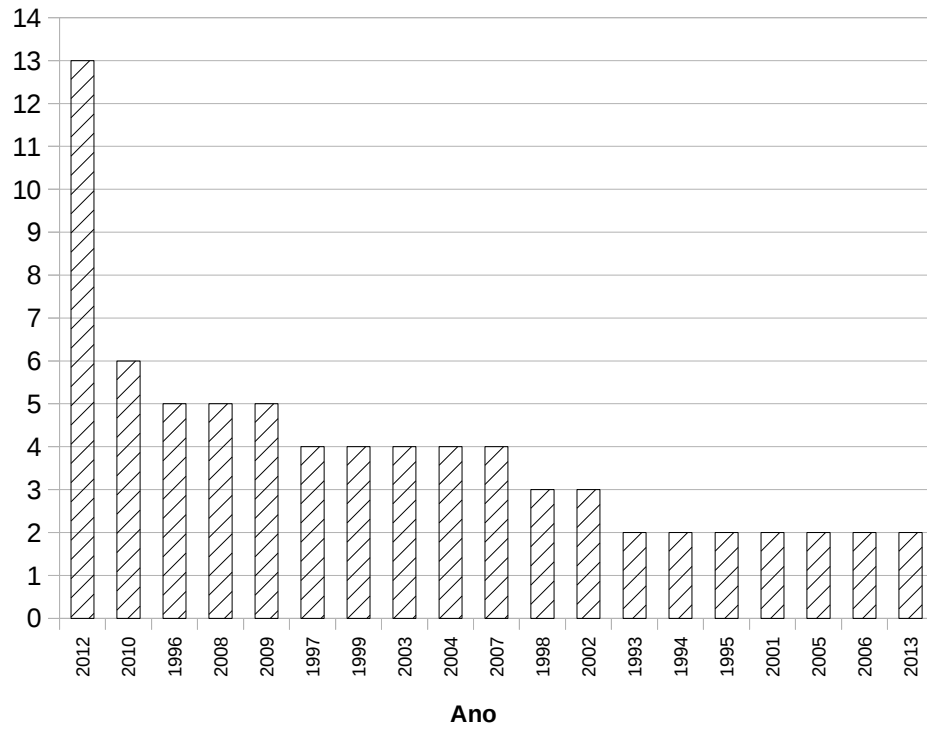


Figura 8. Anos do Grupo 1 da base ISI.

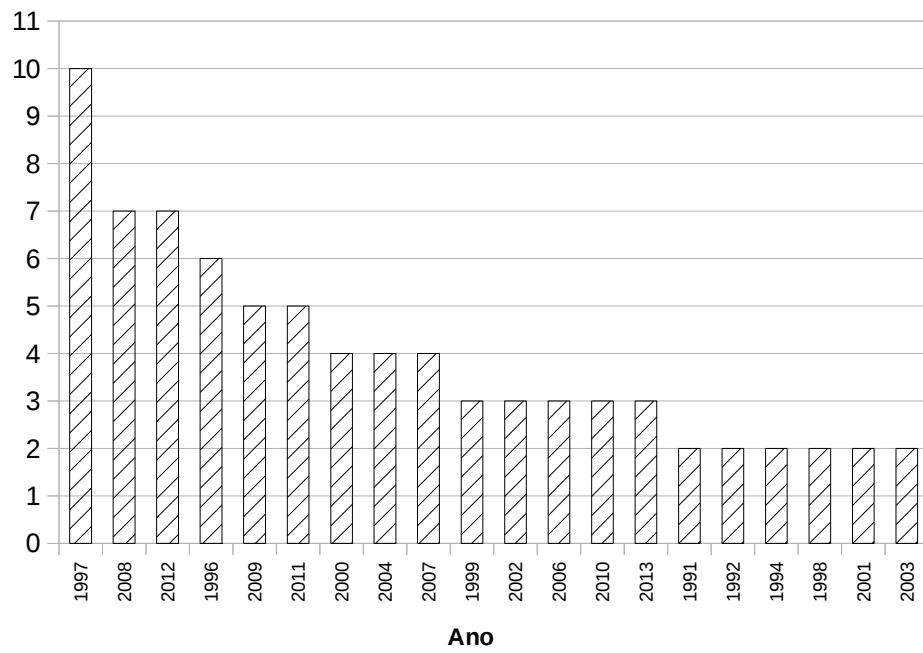


Figura 9. Anos do Grupo 2 da base ISI.

3.2.3 Por país

Os gráficos das figuras 10 a 13 mostram no eixo x os países e no eixo y, as quantidades publicadas em cada um deles, de acordo com o grupo e a base a pertencem.

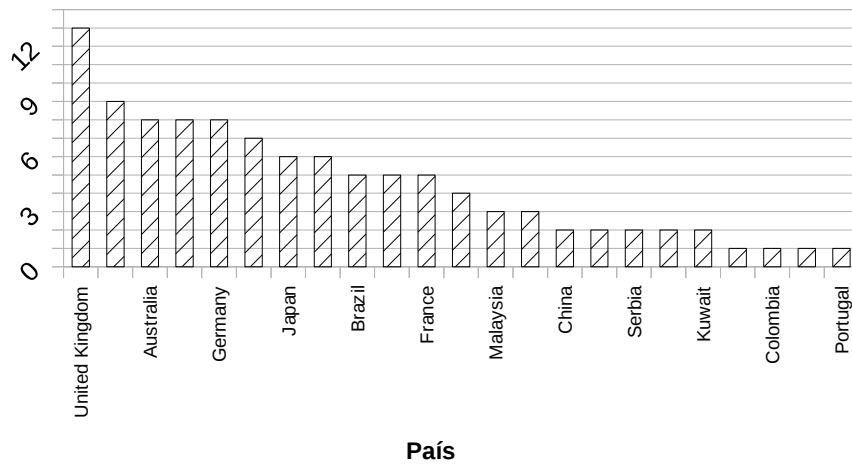


Figura 10. Países do Grupo 1 da base Scopus.

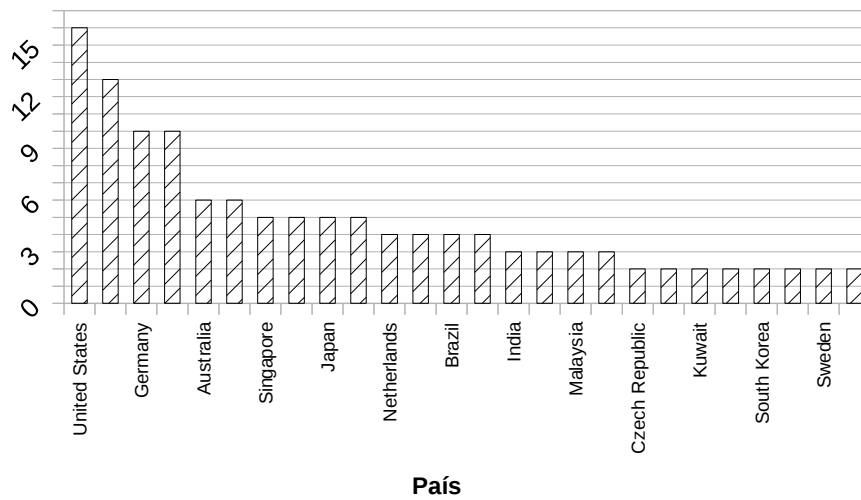


Figura 11. Países do Grupo 2 da base Scopus.

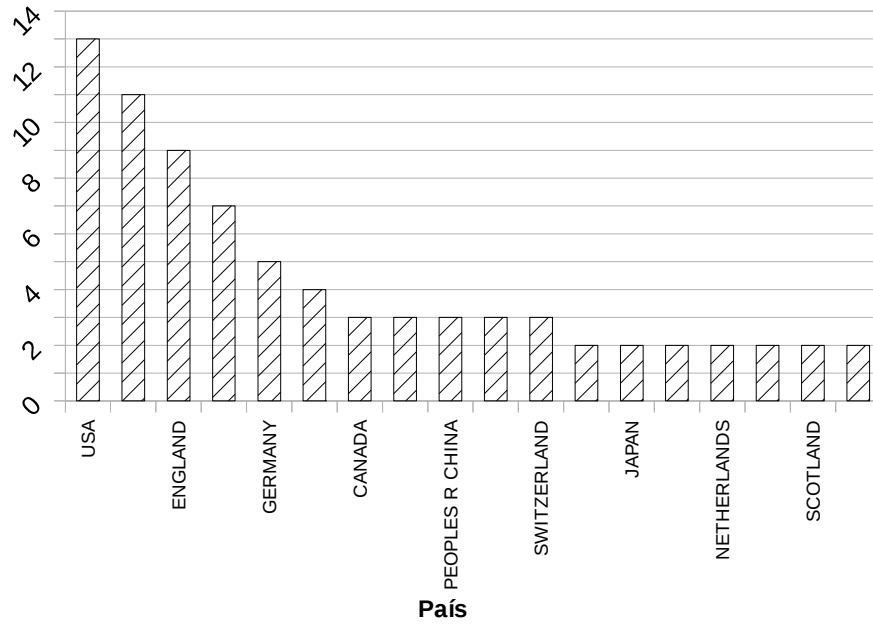


Figura 12. Países do Grupo 1 da base ISI.

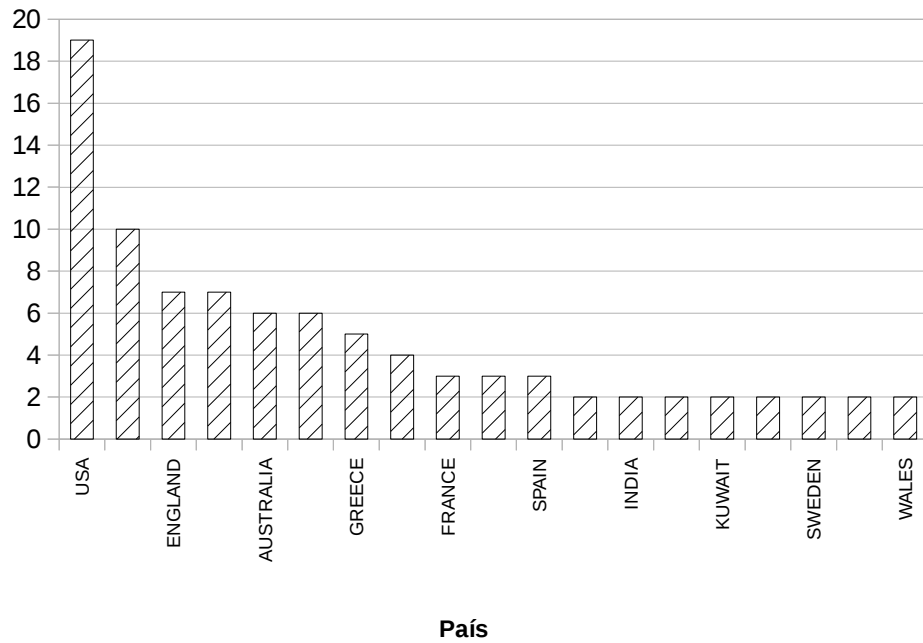


Figura 13. Países do Grupo 2 da base ISI.

3.3 ANÁLISE DOS ARTIGOS DAS PRINCIPAIS DISCUSSÕES

3.3.1 Primeiras discussões

Appleby, Blake e Newman (1961) propuseram a resolução do problema de *timetabling* de forma computacional. Eles executaram três programas para resolver o problema: o primeiro foi executado na antiga máquina DEUCE, desenvolvida pela *English Eletronics*, uma máquina extremamente vulnerável de válvulas com memórias de mercúrio, que tinha grandes problemas de segurança; o segundo programa foi rodado em uma máquina chamada ACE (*Automatic Computing Engine*), desenvolvida por Turing. Os resultados foram bem mais rápidos do que os obtidos com o primeiro programa, rodado na DEUCE. O terceiro programa foi produzido parcialmente pela ACE usando o segundo programa, e, em seguida, foi trabalhado à mão. Segundo os autores, as regras para o programa manual foram escolhidas pensando em ideias futuras. O método computacional utilizado foi feito por duas pessoas que programavam a máquina manualmente para obterem os resultados. Segundo os autores, a comparação direta entre a máquina e o homem não foi possível até aquele momento, pois o programa de certa forma, foi feito a mão pelos operadores.

Junginger (1969) apresenta um sistema que foi executado no mainframe TR 4, desenvolvido pela empresa alemã *Telefunken*, em Berlim. Segundo o autor, não é um sistema especializado em planos de aula de escola, mas de modo geral, também pode ser usado para esses problemas de criação de plano de curso. Também segundo o autor, os professores ficaram contentes com os resultados por terem obtido um calendário que continha todo o esquema, sem contradições e a quantidade de trabalho e tempo necessário tinha sido muito menor do que em anos anteriores.

Lawrie (1969) propõe uma solução utilizando programação linear inteira, utilizando um código escrito em ALGOL. O autor não gerou soluções baseadas em variáveis como professor, salas de aula, etc, ele se baseou nos departamentos,

turmas e esquemas que o mesmo nomeia como *layouts*. Segundo o autor, *layout* é uma declaração do *curriculum* e de sua organização para um grupo de alunos. O autor diz que os *layouts* utilizados foram retirados do livro de um autor chamado Lewis. Alguns tempos de execução foram longos, mas desde que a maioria das entradas para o procedimento produziu várias soluções rapidamente, não apareceu um caso de fixação de limite superior. A medida que os tempos de execução diminuía, o número de soluções também diminuía.

3.3.2 Últimas discussões

Os brasileiros Brito *et al.* (2012) propuseram a aplicação de duas heurísticas para a resolução do problema de geração de horário escolar; eles utilizaram a ferramenta *Kingston's High School Timetabling Engine* (KHE) para gerar soluções iniciais e depois refinaram os resultados utilizando Arrefecimento Simulado (*Simulated Annealing*) e Pesquisa de vizinhança variável (VNS). A ocasião dos trabalhos foi uma competição, a terceira competição internacional de *Timetabling*, que trabalha com instâncias de teste de diversas instituições do mundo. Os autores chegaram ao final da competição. Depois que a KHE gera soluções iniciais, a heurística arrefecimento simulado melhora a solução inicial e finalmente, a heurística de pesquisa de vizinhança variável executa uma busca local em torno da solução obtida. Segundo os autores, as estruturas de vizinhança propostas foram capazes de explorar sistematicamente o espaço de soluções e realizar melhorias significativas após a aplicação tanto do KHE quanto do arrefecimento simulado. Eles ainda afirmam que chegaram a bons resultados, obtendo soluções viáveis para oito das dezoito instâncias testadas.

Post *et al* (2012) escreveram um trabalho propondo uma generalização do problema de *timetabling*. O objetivo do trabalho foi propor um método para minimizar as diferenças de definição de restrições entre as diferentes implementações de geração de grade escolar, visando a criação de um modelo reaproveitável para tal. Segundo os autores, existem três elementos principais em um horário escolar: os

alunos, os professores e as salas de aula; estes últimos são inegavelmente um dos recursos de uma aula, levando em consideração que os alunos devem estudar em algum lugar. Todos estes elementos citados geram de alguma forma alguma restrição para a programação da grade escolar. Eles analisam a realidade de diversos países como Austrália, Inglaterra, Finlândia, Grécia, Holanda e outros, destacando que cada ambiente tem uma definição para a classificação e intensidade de restrições. O modelo proposto no trabalho é feito em XML, que é uma linguagem de marcação que é interpretável pela maioria das linguagens, para a criação de uma estrutura que represente o problema da restrição.

Tassopoulos e Beligiannis (2012) propuseram uma solução para o *timetabling problem* baseado no método enxame de partículas; para achar soluções viáveis para o problema, eles utilizaram dados reais de diversas escolas de ensino médio da Grécia. Os autores afirmam que a solução proposta consegue melhores resultados em comparação com dois outros algoritmos muito eficazes na literatura. Dizem que uma das principais vantagens do algoritmo proposto encontra-se em seu comportamento adaptativo, permitindo que os professores definam seus próprios pesos para cada restrição forte ou fraca que melhor atendam às suas necessidades específicas.

Arulampalam, Naylor e Smith(2012) analisaram um conjunto de dados de estudantes de economia de uma universidade do Reino Unido, objetivando a identificação de efeitos causais da ausência de aula sobre o desempenho dos alunos, explorando informações sobre os horários de aula dos estudantes e outros critérios.

Post, Ahmadi e Geertsema (2012) propuseram uma solução para o problema de *school timetabling* por um método de pesquisa de vizinhança baseada em movimentos sequenciais com um algoritmo de transferência cíclica em grafos. Os autores afirmam que a construção do grafo de melhoria mostra que as melhorias de um ciclo correspondem a uma sequência de alterações no horário; essas alterações são chamadas de transferências cíclicas.

Segundo os autores, o custo é a soma dos custos de arco do ciclo. Naturalmente, o objetivo é que o custo do ciclo reflita a variação da transferência

cíclica do custo. Também para os autores é essencial, em todos os casos, um ciclo admissível no grafo de melhoria, o que corresponde a uma mudança para um vizinho da solução atual. Foram utilizados quatro conjuntos de dados reais de ensino médio da Holanda e Inglaterra para fazerem os experimentos. A qualidade das melhores soluções iniciais é comparável com soluções encontradas na prática, por *timetablers*.

Kristiansen *et al.* (2013) escreveram o documento em cooperação com a empresa Dinamarquesa Macom A/S que é a desenvolvedora do sistema Lectio de administração de ensino médio, que lida com todos os tipos de tarefas administrativas para as escolas de ensino médio. Através desta cooperação, os autores tiveram acesso a dados reais para cerca de 95% das escolas de ensino médio dinamarquesas. Eles utilizaram o método *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS), tendo este encontrado soluções bem sucedidas para o problema. Os autores afirmam que o ALNS em média encontra soluções que são menos do que 4% do ideal. Esta média é tomada de mais de 100 conjuntos de dados reais e, portanto, o resultado é de confiança. Além disso, eles ressaltam que em comparação com o algoritmo existente no Lectio, que é o único outro algoritmo heurístico conhecido para o problema, o algoritmo ALNS é muito superior. Para 83 dos 86 conjuntos de dados, o ALNS encontra as melhores soluções, e em muitos casos, a qualidade da solução dos ALNS é consideravelmente melhor.

Goerigk e Schobel (2013) trabalharam com o problema *Periodic Event Scheduling Problem* (PESP) e utilizaram o método *Modulo Network Simplex Algorithm* para escapar de mínimos locais. Utilizaram dados numéricos reais, obtidos de ferroviárias de grande porte. Os autores afirmam que os resultados do algoritmo não foram somente melhores do que os métodos originais, mas ainda superaram os do software MIP solver.

3.3.3 Discussões sobre GRASP e ILS

Souza, Maculan e Ochi(2001) desenvolveram um algoritmo chamado GTS-II. Segundo eles o GTS-II é um procedimento GRASP em que uma solução inicial é gerada por um procedimento construtivo parcialmente guloso. O refinamento dessa solução é obtido por meio de um método de Busca Tabu (TS). Quando uma solução viável é gerada, o método TS ativa o procedimento intraclases-Interclases. Esta sequência de construção e refinamento é repetida por um número específico de iterações. O procedimento Intraclases-Interclases que se baseia em movimentos dos períodos de aula. Os dados para os experimentos foram da escola Escola Dom Silvério, localizada no Brasil.

Oliveira, Vianna e Dianin (2012) propuseram uma heurística GRASP que utiliza, na etapa de busca local, a técnica VND para solucionar o Problema de Horário Escolar. Os autores consideraram para a programação de horários os dados de dois turnos do ensino médio da Escola Agrotécnica Federal de Alegre (ES, Brasil) em 2006 e 2007, além de outras instâncias geradas para testes. Eles afirmam que “de acordo com a coordenação pedagógica da instituição, os resultados obtidos pela heurística GRASP+VND são de 15 a 20% melhores do que os alcançados manualmente (após dias de trabalho)”.

Os brasileiros Fonseca *et al.* (2012) buscaram em seu trabalho a solução do problema proposto pela *Third International Timetabling Competition* (ITC2011). Eles incluíram um amplo conjunto de instâncias originadas de diversas instituições educacionais ao redor do mundo. Os autores propuseram os métodos de busca local *Simulated Annealing* e *Iterated Local Search* (ILS) para o problema. Os autores afirmam que “uma característica estrutural importante na abordagem é o uso da plataforma KHE para gerar soluções iniciais, combinada com uma abordagem de busca multi-vizinhança”. Eles ainda afirmam que “os resultados obtidos foram animadores: dez de dezessete soluções encontradas e sete de vinte e uma melhores soluções conhecidas foram melhoradas ou atingidas no tempo limite estipulado pela ITC2011”.

Saviniec e Constantino (2012) buscam solucionar o *High School Timetabling Problem* (HSTP) através de um algoritmo Iterated Local Search (ILS) que se utiliza de uma heurística caixa preta que incorpora um procedimento Steepest Descent (SD). Um grande conjunto de dados de referência com exemplos de várias escolas secundárias brasileiras é utilizado no trabalho. Os autores dizem que os resultados têm mostrado que a abordagem é competitiva e funciona muito bem nos casos de problemas.

Saviniec *et al.* (2013) utilizaram três algoritmos baseados em ILS para resolver o problema de *High School Timetabling* e afirmam que, o componente chave destes métodos heurísticos reside na utilização de dois operadores vizinhança poderosos.

4 METODOLOGIA

As etapas do processo metodológico desse trabalho foram: 1) Levantamento de requisitos; 2) Levantamento bibliométrico do tema; 3) Aplicação das heurísticas; e 4) Desenvolvimento de um protótipo simples para a entrada e saída de dados, visando a utilização pelo cliente. Um banco de dados é utilizado para guardar os resultados.

O fluxograma da Figura 14 mostra as etapas do processo metodológico. Como se pode ver, no início foi feito o levantamento das restrições mais comuns a instituição pela aplicação de um questionário de restrições possíveis. Depois de definidas as restrições utilizadas, foram desenvolvidas heurísticas e foi verificado qual a que teve o melhor desempenho. A partir disso, essa heurística foi utilizada como padrão para a geração de horários no campus.

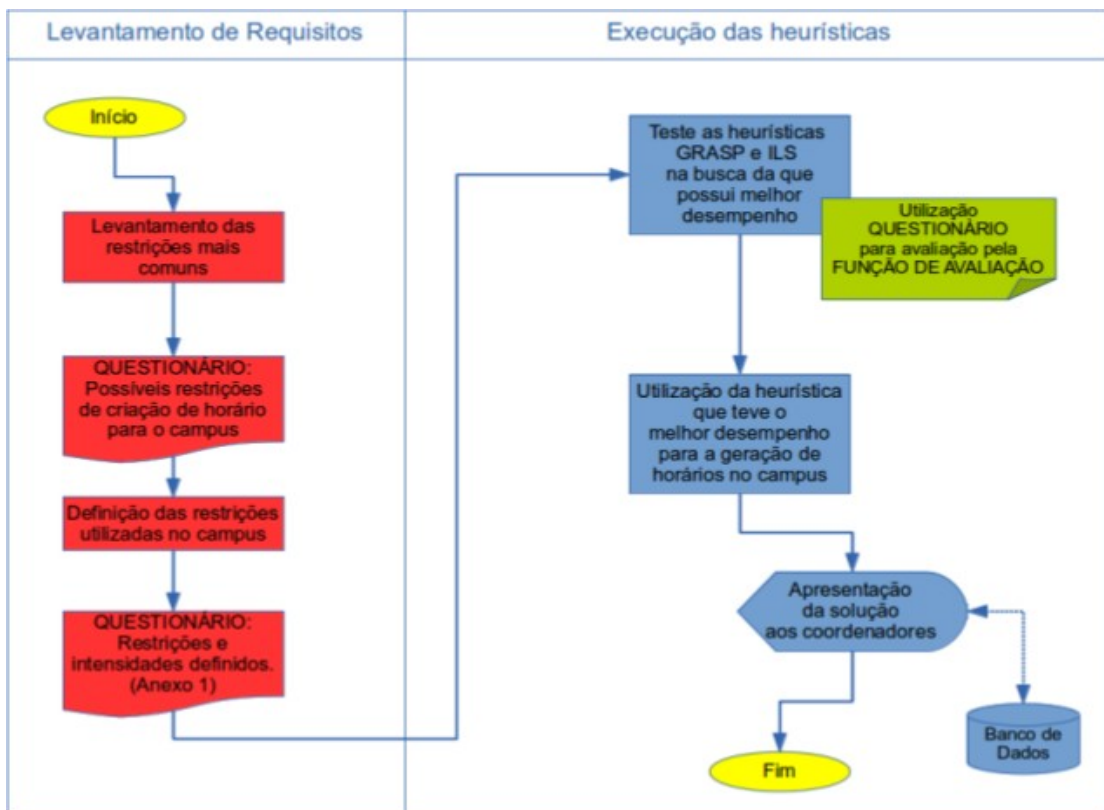


Figura 14. Metodologia utilizada.

4.1 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS

Para descobrir qual seria a realidade do IFF Bom Jesus, ou seja, o conjunto de regras específicas de criação de horário, foi utilizado um questionário que continha uma grande gama de restrições, obtidas em Pereira (2012). A intenção do questionário é o apontamento das restrições que são verificadas nos horários e a sua intensidade (fortes ou fracas).

A Diretora de Assistência ao Educando do Campus Bom Jesus, responsável pela criação e verificação dos horários no campus, gentilmente respondeu o questionário, apontando as peculiaridades da instituição, de modo que foram definidas as regras fortes e fracas da instituição. O questionário, depois de validado segue no Apêndice A.

4.2 LEVANTAMENTO DE PESQUISA BIBLIOMÉTRICA SOBRE O TEMA

Para descobrir as tendências no tratamento da problemática nas diversas realidades espalhadas pelo mundo, foi feita uma pesquisa bibliométrica. O objetivo desta pesquisa foi descobrir quais as soluções mais comuns encontradas e também saber mais sobre a evolução dessas soluções ao longo do tempo. No Capítulo 3 a pesquisa bibliométrica foi detalhada.

4.3 HEURÍSTICAS UTILIZADAS

De acordo com a pesquisa bibliométrica, não foi descoberto nenhum padrão de solução para o problema. As soluções aplicadas em sua maioria retornam para os usuários uma boa solução e algumas vezes a ótima. Dessa forma optou-se por utilizar uma heurística própria para resolver esse problema, não vinculado a

nenhuma tendência descoberta. A semelhança com algum método aplicado em outros trabalhos é então uma mera coincidência.

As heurísticas escolhidas foram a GRASP e o ILS. Maiores detalhes sobre a aplicação dessas heurísticas ao problema abordado nesse trabalhos são descritos no Capítulo 5.

4.4 PROTÓTIPO PARA VALIDAÇÃO DO SISTEMA

Para a inserção dos dados básicos para a geração de um horário escolar, foi utilizado um aplicativo que:

- Gera relatórios em formato “csv”, que pode ser aberto em aplicativos de planilha eletrônica de suítes de escritório, como Microsoft Excel e LibreOffice Calc; e
- Mantém (lista, cadastra, edita e exclui) as seguintes entidades necessárias no sistema: Curso, Turma, Disciplina, DisciplinaPrioridade, Professor e TurmaDisciplinaProfessor.

A heurística gera a melhor solução e o aplicativo em questão apresenta essa solução graficamente. Maiores detalhes desse aplicativo serão dados no Capítulo 6.

5 HEURÍSTICAS PROPOSTAS

As heurísticas propostas neste trabalho visam a minimização das penalidades de geração de horário, levando em consideração as restrições de horário levantadas pelo campus.

Neste capítulo, as heurísticas serão apresentadas com todas as suas estruturas de dados e seus algoritmos. Na Seção 5.1, a estrutura de dados que representa a solução propriamente dita será mostrada e explicada. Na Seção 5.2, a estrutura de dados que diz respeito a alocação de professores será detalhada. O algoritmo construtivo será apresentado na Seção 5.3 e a busca local será apresentada na Seção 5.4. Na Seção 5.5, a função de avaliação será explicada. Finalizando o capítulo será explicado um pouco mais sobre as heurísticas propostas.

5.1 CODIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO

Para representar uma solução optou-se por considerar todo o escopo de cursos e turmas de ensino médio da instituição, de modo que, os horários gerados de todas as turmas de ensino médio formam uma solução. Para que isso fosse possível, representou-se uma solução como uma matriz, onde cada linha traz as alocações de horários para as diversas turmas dos diversos cursos. A primeira coluna de cada linha se refere a informação da turma para qual as alocações foram feitas. Na representação da solução, não estão incluídos os intervalos entre os horários, mas estes são mostrados na solução final.

Considera-se para a montagem de uma linha da matriz de solução, o quadro de tempos de aula para cada curso e modalidade em um dia na semana e os tempos de aula de uma possível dia de sábado letivo. Cursos na modalidade concomitante, sejam eles pela manhã, tarde ou noite, têm seus horários distribuídos

em 5 tempos por dia. Nos cursos integrados, tem-se 6 tempos de manhã e 4 à tarde. A informação é descrita de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Tempos por modalidade e turno no dia.

Horários	Integrado	Concom. Manhã	Concom. Tarde	Concom. Noite	Aula Sábado
7:00 – 7:50	X	X			X
7:50 – 8:40	X	X			X
8:40 – 9:30	X	X			X
9:50 – 10:40	X	X			X
10:40 – 11:30	X	X			X
11:30 - 12:10	X				
12:50 – 13:40	X		X		
13:40 – 14:30	X		X		
14:50 - 15:40	X		X		
15:40 – 16:30	X		X		
16:30 – 17:20			X		
18:30 – 19:20				X	
19:20 – 20:10				X	
20:20 – 21:10				X	
21:10 – 22:00				X	
22:00 – 22:40				X	

Considerando os tempos diários da modalidade integrado e concomitante, e os períodos de sábado – sempre no começo de dia, de forma idêntica ao concomitante manhã -, tem-se 16 tempos por dia para se levar em consideração. Conseqüentemente, a matriz que representa a solução, conta com x linhas, onde x representa o número de turmas para o qual os horários serão gerados; e 86 colunas, representando as alocações para cada turma. A definição das colunas é dada por:

- Coluna 0: Contém o valor de identificação da turma para a qual as alocações das próximas colunas estão direcionadas;
- Colunas [1-85]: Alocações dos dias;
 - Colunas [1-16]: Alocações de segunda-feira (16 tempos);
 - Colunas [17-32]: Alocações de terça-feira (16 tempos);
 - Colunas [33-48]: Alocações de quarta-feira (16 tempos);
 - Colunas [49-64]: Alocações de quinta-feira (16 tempos);
 - Colunas [65-80]: Alocações de sexta-feira (16 tempos);
 - Colunas [81-85]: Alocações de uma possível aula sábado (5 tempos).

Segue na Figura 15, um exemplo de uma solução gerada, considerando 4 turmas. Se trata de uma solução para uma instancia de testes simples. Um caso real envolve mais turmas e mais disciplinas a serem alocadas.

As células coloridas em verde representam a parte da solução gerada para o dia de segunda-feira; as células coloridas em azul representam a parte da solução gerada para o dia de sexta-feira; e o trecho em azul representa o dia de sábado.

As numerações nos campos de alocações referem-se aos identificadores idTurmaDisciplinaProfessor, previamente cadastrados antes da geração das soluções. Esses dados dizem respeito a informação das disciplinas que cada professor vai ministrar em cada turma. Neste exemplo fictício, o número 17 refere-se ao professor Horácio ministrando inglês para a turma 2. O objetivo da geração de horários é alocar esse idTurmaDisciplinaProfessor e outros nos locais mais ideais

possíveis. O número 0 refere-se a horários vagos, o número -1 refere-se a tempos não considerados para a turma correspondente.

A solução representada na Figura 15 se trata de uma solução para uma instância de testes simples. A Figura 16, representa o fragmento da solução gerada para o dia de sexta-feira.

idTurma	Alocações																																																																															
1	1	1	0	3	0	2	5	5	5	0	-1	-1	-1	-1	-1	10	14	14	15	15	16	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1																		
2	17	17	18	18	19	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	21	21	0	18	19	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	23	23	17	17	21							
3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	32	32	40	40	33	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	35	38	38	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1						
4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	52	52	52	55	55	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	60	60	0	57	53	52	52	59	58	51

Figura 15. Solução gerada.

idTurma	Alocações Sexta-feira																						
1	10	14	14	15	15	16	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
2	21	21	0	18	19	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	35	38	38	0	-1	-1	-1	-1	-1	
4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	60	60	0	57	53

Figura 16. Solução gerada para o dia de sexta-feira.

Pelas tabelas, entre 3 e 6, na comparação feita, pode-se identificar as modalidades das turmas de acordo com a solução gerada.

- Tabela 3: Nota-se que se trata de uma turma de modalidade integrado, pois possui alocações em dois turnos;
- Tabela 4: Nota-se que se trata de uma turma de modalidade concomitante, no turno da manhã;
- Tabela 5: Nota-se que se trata de uma turma de modalidade concomitante, no turno da tarde;
- Tabela 6: Nota-se que se trata de uma turma de modalidade concomitante, no turno da noite.

Tabela 3. Fragmento de solução de sexta-feira para a turma 1.

Horários	Integrado	Concom. Manhã	Concom. Tarde	Concom. Noite	Aula Sábado	Fragmento da solução gerada para o dia de sexta-feira: Turma 1	Situação do tempo de aula
7:00 – 7:50	X	X			X	10	Alocado
7:50 – 8:40	X	X			X	14	Alocado
8:40 – 9:30	X	X			X	14	Alocado
9:50 – 10:40	X	X			X	15	Alocado
10:40 – 11:30	X	X			X	15	Alocado
11:30 - 12:10	X					16	Alocado
12:50 – 13:40	X		X			0	Vago
13:40 – 14:30	X		X			0	Vago
14:50 - 15:40	X		X			0	Vago
15:40 – 16:30	X		X			0	Vago
16:30 – 17:20			X			-1	Não Considerado
18:30 – 19:20				X		-1	Não Considerado
19:20 – 20:10				X		-1	Não Considerado
20:20 – 21:10				X		-1	Não Considerado
21:10 – 22:00				X		-1	Não Considerado
22:00 – 22:40				X		-1	Não Considerado

Tabela 4. Fragmento de solução de sexta-feira para a turma 2.

Horários	Integrado	Concom. Manhã	Concom. Tarde	Concom. Noite	Aula Sábado	Fragmento da solução gerada para o dia de sexta-feira: Turma 2	Situação do tempo de aula
7:00 – 7:50	X	X			X	21	Alocado
7:50 – 8:40	X	X			X	21	Alocado
8:40 – 9:30	X	X			X	0	Vago
9:50 – 10:40	X	X			X	18	Alocado
10:40 11:30	X	X			X	19	Alocado
11:30 - 12:10	X					-1	Não Considerado
12:50 – 13:40	X		X			-1	Não Considerado
13:40 – 14:30	X		X			-1	Não Considerado
14:50 - 15:40	X		X			-1	Não Considerado
15:40 – 16:30	X		X			-1	Não Considerado
16:30 – 17:20			X			-1	Não Considerado
18:30 – 19:20				X		-1	Não Considerado
19:20 – 20:10				X		-1	Não Considerado
20:20 – 21:10				X		-1	Não Considerado
21:10 – 22:00				X		-1	Não Considerado
22:00 – 22:40				X		-1	Não Considerado

Tabela 5. Fragmento de solução de sexta-feira para a turma 3.

Horários	Integrado	Concom. Manhã	Concom. Tarde	Concom. Noite	Aula Sábado	Fragmento da solução gerada para o dia de sexta-feira: Turma 3	Situação do tempo de aula
7:00 – 7:50	X	X			X	-1	Não Considerado
7:50 – 8:40	X	X			X	-1	Não Considerado
8:40 – 9:30	X	X			X	-1	Não Considerado
9:50 – 10:40	X	X			X	-1	Não Considerado
10:40 – 11:30	X	X			X	-1	Não Considerado
11:30 - 12:10	X					-1	Não Considerado
12:50 – 13:40	X		X			0	Vago
13:40 – 14:30	X		X			35	Alocado
14:50 - 15:40	X		X			38	Alocado
15:40 – 16:30	X		X			38	Alocado
16:30 – 17:20			X			0	Vago
18:30 – 19:20				X		-1	Não Considerado
19:20 – 20:10				X		-1	Não Considerado
20:20 – 21:10				X		-1	Não Considerado
21:10 – 22:00				X		-1	Não Considerado
22:00 – 22:40				X		-1	Não Considerado

Tabela 6. Fragmento de solução de sexta-feira para a turma 4.

Horários	Integrado	Concom. Manhã	Concom. Tarde	Concom. Noite	Aula Sábado	Fragmento da solução gerada para o dia de sexta-feira: Turma 4	Situação do tempo de aula
7:00 – 7:50	X	X			X	-1	Não Considerado
7:50 – 8:40	X	X			X	-1	Não Considerado
8:40 – 9:30	X	X			X	-1	Não Considerado
9:50 – 10:40	X	X			X	-1	Não Considerado
10:40 – 11:30	X	X			X	-1	Não Considerado
11:30 - 12:10	X					-1	Não Considerado
12:50 – 13:40	X		X			-1	Não Considerado
13:40 – 14:30	X		X			-1	Não Considerado
14:50 - 15:40	X		X			-1	Não Considerado
15:40 – 16:30	X		X			-1	Não Considerado
16:30 – 17:20			X			-1	Não Considerado
18:30 – 19:20				X		60	Alocado
19:20 – 20:10				X		60	Alocado
20:20 – 21:10				X		0	Vago
21:10 – 22:00				X		57	Alocado
22:00 – 22:40				X		53	Alocado

tempos na segunda no período da tarde; o professor 3 ministra em 2 tempos na tarde de quinta-feira; e nenhum professor deste exemplo ministra aulas no sábado.

5.3 ALGORITMO CONSTRUTIVO

O Algoritmo 3 mostra o pseudocódigo do algoritmo construtivo totalmente guloso. Primeiramente a solução é inicializada (Passo 01). Para cada turma de cada curso (Passo 02 e 03), é formada uma lista com todas as disciplinas e respectivos professores que devem ser alocados para cada turma (Passo 04) e esta é ordenada de forma decrescente pela carga horária da disciplina. Em caso de empate, ela é ordenada crescentemente, pela disponibilidade de tempo do professor (Passo 05). Enquanto esta lista não estiver vazia, o sistema aloca as disciplinas (Passos de 06 a 08), depois de alocada a disciplina, ela sai das opções para alocação.

No momento da alocação (Passo 08), o algoritmo verifica se a posição onde será alocada o `idTurmaDisciplinaProfessor` está apta para ser preenchida. Ela está apta caso esteja com o valor '0'. Se estiver com o valor '-1', significa que o tempo não é equivalente para aquela turma, naquela modalidade e naquele turno.

Para exemplificar esses valores iniciais de alocação, tem-se uma turma da tarde, onde os tempos da manhã e da noite ficarão com o valor '-1' e somente os tempos da tarde ficarão com '0'. No caso dessa mesma turma ter tempos de aula no dia de sábado para serem preenchidos nos horários, os tempos do dia de sábado (que são os 5 (cinco) primeiros da manhã), vão ter o valor '0'. Caso não tenha a opção do sábado habilitado, os tempos de sábado ficarão com '-1'.

Esse preenchimento inicial dos campos, de modo a sinalizar ao algoritmo construtivo qual tempo pode ser utilizado ou não, se refere ao passo 01 do pseudocódigo do Algoritmo 3. Depois de todas as alocações, os tempos vagos podem se manter com '0', ficando vagos, ou terão um `idTurmaDisciplinaProfessor` alocado neles.

Ainda com relação a alocação, caso a posição esteja com o valor '0', será feita outra verificação. A próxima verificação indica se esta mesma posição de tempo

de aula na matriz de alocação de professores para o professor do `idTurmaDisciplinaProfessor` referente está preenchida. Se a posição está com o valor '1', este professor, representado com o mesmo ou outro `idTurmaDisciplinaProfessor`, já está ministrando aula neste tempo. Como ele não pode dar aula em duas turmas ao mesmo tempo e ele já está ministrando aula para alguma turma neste tempo, o algoritmo construtivo encontrou uma colisão.

Nos casos de colisão, o algoritmo passa pra próxima posição na mesma tentativa de alocação. Caso o valor desta posição na matriz de alocação de professores esteja com '0', ele pode ser alocado neste tempo sem problemas, ou seja, ele não está ministrando aula neste tempo ainda.

Em resumo, se o valor do vetor solução da turma atual está com o valor '0' na posição para a qual se deseja alocar, e se não há colisão, ou seja, o professor em questão não ministra aula nesse tempo, a alocação pode ser feita sem problemas. A matriz de alocação de professores nessa posição passa do valor '0' para o valor '1'. Do mesmo modo esta mesma posição, no vetor solução da turma atual, recebe o valor do `idTurmaDisciplinaProfessor` em questão, onde anteriormente tinha o valor '0'.

Passo 01: Inicializa a solução `s`;

Passo 02: Para todo curso `c` "não atendido" faça:

Passo 03: Para toda turma `t` do curso `c` faça:

Passo 04: Seja `I` uma lista com todas as disciplinas e respectivos professores que devem ser alocados para a turma `t`;

Passo 05: Ordene `I` de forma decrescente pela carga horária da disciplina.

//Em empate, ordene crescentemente, pela disponibilidade de tempo do professor;

Passo 06: Enquanto `I` não vazia faça:

Passo 07: Seja `d` a primeira disciplina de `I`;

Passo 08: Aloca os tempos na sequência de segunda a sexta/sábado;

Passo 09: FimEnquanto.

Passo 10: FimPara.

Passo 11: FimPara.

Algoritmo 3: Pseudocódigo do algoritmo construtivo totalmente guloso.

O Algoritmo construtivo guloso-aleatorizado do sistema é descrito na Algoritmo 4.

Passo 01: Inicializa a solução s ;
Passo 02: Para todo curso c "não atendido" faça:
Passo 03: Para toda turma t do curso c faça:
Passo 04: Seja I uma lista com todas as disciplinas e respectivos professores que devem ser alocados para a turma t ;
Passo 05: Ordene I de forma decrescente pela carga horária da disciplina;
//Em empate, ordene crescentemente, pela disponibilidade de tempo do professor;
Passo 06: Enquanto I não vazia faça:
Passo 07: Seja **LRC**(Lista Restrita de Candidatos) formada pelos r primeiros elementos de I ;
Passo 08: Escolha aleatoriamente uma disciplina d de **LRC**;
Passo 09: Aloca os tempos na sequência de segunda a sexta/sábado;
Passo 10: FimEnquanto.
Passo 11: FimPara.
Passo 12: FimPara.

Algoritmo 4: Pseudocódigo do algoritmo construtivo guloso-aleatorizado.

A diferença do algoritmo construtivo guloso-aleatorizado para o totalmente guloso está na construção da LRC (Lista Restrita de Candidatos), mostrada nos passos 7 e 8 do Algoritmo 4.

O valor de r no passo 7 do algoritmo construtivo guloso-aleatorizado é 3. Este valor foi definido após testes empíricos.

No passo 8, depois de escolhida uma disciplina d aleatoriamente, esta sai da lista de disponíveis para a escolha. Dessa forma, uma mesma disciplina não é escolhida mais de uma vez.

Considerando isso, as r primeiras disciplinas que formam a LRC nunca serão as mesmas e se renovam a cada iteração. As iterações terminam quando todas as disciplinas são escolhidas e alocadas.

Ainda com relação ao passo 08 e mencionando o passo 09 do algoritmo construtivo guloso-aleatorizado, a alocação segue a ordem de segunda a sexta, se a turma tiver a opção do sábado letivo habilitado, também ocorrerá alocações no sábado.

5.4 BUSCA LOCAL

A busca local consiste na troca de agrupamentos. Agrupamentos são grupos de alocações de soluções semelhantes e adjacentes. Podem ser de tamanhos variados. Agrupamentos de horários vagos também são passíveis de troca por agrupamentos com tempos alocados. Se a troca resultar em melhora na solução, ela permanece. Senão, ocorre a destroca.

Na Figura 18, cada grupo de disciplinas destacado é um agrupamento. Os destaques do lado esquerdo são agrupamentos de disciplinas de três e duas alocações. O agrupamento do lado direito é um agrupamento de horários vagos com três alocações.

Para o procedimento de busca local, primeiramente o sistema identifica todos os agrupamentos existentes na turma e os seus tamanhos. Com essa informação, as trocas se iniciam.

	Dia/Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
Tamanho 3 ←	7:00 - 7:50	Port - Itai	Port - Itai	Mate - Joao	Ingl - Mari	Hist - Itai	vago
	7:50 - 8:40	Port - Itai	Port - Itai	Mate - Joao	Ingl - Mari	Hist - Itai	vago
	8:40 - 9:30	Port - Itai	Port - Itai	Mate - Joao	Ingl - Mari	vago	vago
	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo
Tamanho 2 ←	9:50 - 10:40	Mate - Joao	Port - Itai	Ingl - Mari	Hist - Itai	vago	vago
	10:40 - 11:30	Mate - Joao	Mate - Joao	Ingl - Mari	Hist - Itai	vago	vago
	11:30 - 12:00	-	-	-	-	-	-
	Almoco	Almoco	Almoco	Almoco	Almoco	Almoco	Almoco
	12:50 - 13:00	-	-	-	-	-	-
	13:40 - 14:00	-	-	-	-	-	-
	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo
	14:50 - 15:00	-	-	-	-	-	-
	15:40 - 16:00	-	-	-	-	-	-
	16:30 - 17:00	-	-	-	-	-	-
	Jantar	Jantar	Jantar	Jantar	Jantar	Jantar	Jantar
	18:30 - 19:00	-	-	-	-	-	-
	19:20 - 20:00	-	-	-	-	-	-
	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo
	20:20 - 21:00	-	-	-	-	-	-
	21:10 - 22:00	-	-	-	-	-	-
	22:00 - 22:30	-	-	-	-	-	-

→ Tamanho 3 Vago

Figura 18. Representação de Agrupamentos de solução.

Na troca de agrupamentos, o algoritmo busca agrupamentos de tamanhos iguais com valores diferentes. A troca e/ou a destroca não pode ser feita somente na solução, mas também na matriz de alocação de professores, para que a função de avaliação possa avaliar de forma adequada.

Neste trabalho, foram utilizados dois tipos de estruturas de vizinhança: 1) Estrutura de vizinhança simples, que troca apenas dois agrupamentos por vez; e 2) Estrutura de vizinhança maior, que faz a troca entre três agrupamentos por vez.

5.5 FUNÇÃO DE AVALIAÇÃO

Para avaliar a solução foi utilizada uma função baseada em penalidades. De acordo com a restrição que foi atingida, a função acrescenta um peso a ser somado. Para as restrições fortes foi colocado um peso bem maior do que o das restrições fracas, de modo a tornar o horário inviável caso uma penalidade forte seja imposta. As penalidades avaliadas foram seis. Três foram consideradas fortes e três foram consideradas fracas. Suas definições estão no Apêndice A. A Tabela 7 mostra as restrições e seus pesos.

A última restrição descrita na tabela, diz respeito a determinadas disciplinas que devem ser ministradas em turnos específicos. Um exemplo disso são algumas disciplinas de campo de agropecuária que necessitam da luz do dia para pleno aprendizado.

Tabela 7. Restrições avaliadas pela função de avaliação.

Restrição	Intensidade	Peso dado
Colisão de professores na alocação dos tempos	Forte	1000
O professor deve ter um dia livre na semana	Forte	1000
O professor não pode ministrar aulas em três turnos, apenas em dois	Forte	1000
A disponibilidade de tempo dos professores deve ser respeitada	Fraca	10
Determinadas disciplinas não podem ser dadas juntas	Fraca	10
Algumas disciplinas tem uma lógica de preferência	Fraca	10

5.6 ALGORITMOS PROPOSTOS

Foram propostas 4 heurísticas para a resolução do problema, 3 utilizando GRASP e 1 utilizando o ILS. Com relação às heurísticas GRASP, o pseudocódigo padrão é descrito na Algoritmo 1, utilizando o algoritmo construtivo guloso-aleatorizado descrito no Algoritmo 4. Para a heurística ILS, o pseudocódigo padrão é descrito na Algoritmo 2.

As heurísticas vão variar de acordo com o movimento/vizinhança utilizado. Seguem elas:

- ILS;
- GRASP1: A heurística GRASP utilizando a Estrutura de vizinhança simples;
- GRASP2: A heurística GRASP utilizando a Estrutura de vizinhança maior;
- GRASP3: A heurística GRASP utilizando as duas estruturas de vizinhança – a Estrutura de vizinhança simples primeiramente e, logo após, a Estrutura de vizinhança maior.

Existe somente uma heurística ILS, pois, na sua versão mais simples, já ocorre os dois movimentos possíveis: 1) troca de dois agrupamentos na busca local; e 2) troca de três movimentos na perturbação.

A ideia desta parte do trabalho é avaliar qual dos quatro algoritmos terá o melhor desempenho, no que se refere a melhores resultados em um mesmo período de tempo para cada algoritmo.

5.6.1 Algoritmo de perturbação do ILS

A heurística ILS se baseia em uma perturbação que faz um movimento de troca de três agrupamentos. Faz-se a escolha de uma turma da solução atual aleatoriamente. Nesse momento ocorre, de forma aleatória, a busca de três agrupamentos com um tamanho de agrupamento escolhido também aleatoriamente.

Após isso, finalmente, ocorre a troca entre esses agrupamentos. De três agrupamentos escolhidos, considerando-se A, B e C. O agrupamento A troca com o B, logo depois o B é trocado com o C. A Figura 19 indica essa troca.

Dia/Horario	A Segunda	Terça	B Quarta	C Quinta	Sexta	Sabado
7:00 - 7:50	Port - Ital	Port - Ital	Mate - Joao	Ingl - Mari	Hist - Ital	vago
7:50 - 8:40	Port - Ital	Port - Ital	Mate - Joao	Ingl - Mari	Hist - Ital	vago
8:40 - 9:30	Port - Ital	Port - Ital	Mate - Joao	Ingl - Mari	vago	vago
Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo
9:50 - 10:40	Mate - Joao	Port - Ital	Ingl - Mari	Hist - Ital	vago	vago
10:40 - 11:...	Mate - Joao	Mate - Joao	Ingl - Mari	Hist - Ital	vago	vago

Dia/Horario	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
7:00 - 7:50	Mate - Joao	Port - Ital	Port - Ital	Ingl - Mari	Hist - Ital	vago
7:50 - 8:40	Mate - Joao	Port - Ital	Port - Ital	Ingl - Mari	Hist - Ital	vago
8:40 - 9:30	Mate - Joao	Port - Ital	Port - Ital	Ingl - Mari	vago	vago
Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo
9:50 - 10:40	Mate - Joao	Port - Ital	Ingl - Mari	Hist - Ital	vago	vago
10:40 - 11:...	Mate - Joao	Mate - Joao	Ingl - Mari	Hist - Ital	vago	vago

Dia/Horario	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
7:00 - 7:50	Mate - Joao	Port - Ital	Ingl - Mari	Port - Ital	Hist - Ital	vago
7:50 - 8:40	Mate - Joao	Port - Ital	Ingl - Mari	Port - Ital	Hist - Ital	vago
8:40 - 9:30	Mate - Joao	Port - Ital	Ingl - Mari	Port - Ital	vago	vago
Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo
9:50 - 10:40	Mate - Joao	Port - Ital	Ingl - Mari	Hist - Ital	vago	vago
10:40 - 11:...	Mate - Joao	Mate - Joao	Ingl - Mari	Hist - Ital	vago	vago

Figura 19: Troca de três agrupamentos.

6 APLICATIVO

Para a inserção dos dados básicos para a geração de um horário escolar, foi utilizado um aplicativo. Ele lista, cadastra, edita e exclui as seguintes entidades necessárias no sistema: Curso, Turma, Disciplina, DisciplinaPrioridade, Professor e TurmaDisciplinaProfessor. O aplicativo foi desenvolvido na linguagem de programação JAVA.

Como já citada no capítulo 5, essa última entidade se refere a entidade mais importante para a criação de horários. Como o próprio nome já diz, ela indica quais são os Professores que estão ministrando determinada Disciplina em determinada Turma. As heurísticas se utilizam principalmente dela para a geração de horário. A entidade DisciplinaPrioridade diz respeito à restrição das disciplinas que não podem ser ministradas no mesmo dia que outras.

O sistema gera uma solução e disponibiliza essa solução graficamente para o usuário, nas suas diversas turmas. Também há a possibilidade da exportação da solução em arquivos no formato CSV.

Uma visão geral do sistema descrito é apresentado nas figuras 20 a 23. A Figura 20 mostra as telas principais do sistema, ou seja, as telas de visualização de registros das entidades: Turma, Professor, Disciplina, Curso e TurmaDisciplinaProfessor.

As telas de visualização de registros mostram todos os itens da entidade que foram cadastrados. Esta tela possui botões padrão de: Cadastrar, Editar, Remover e Fechar. Clicando no registro desejado, basta pressionar o botão correspondente a ação específica desejada.

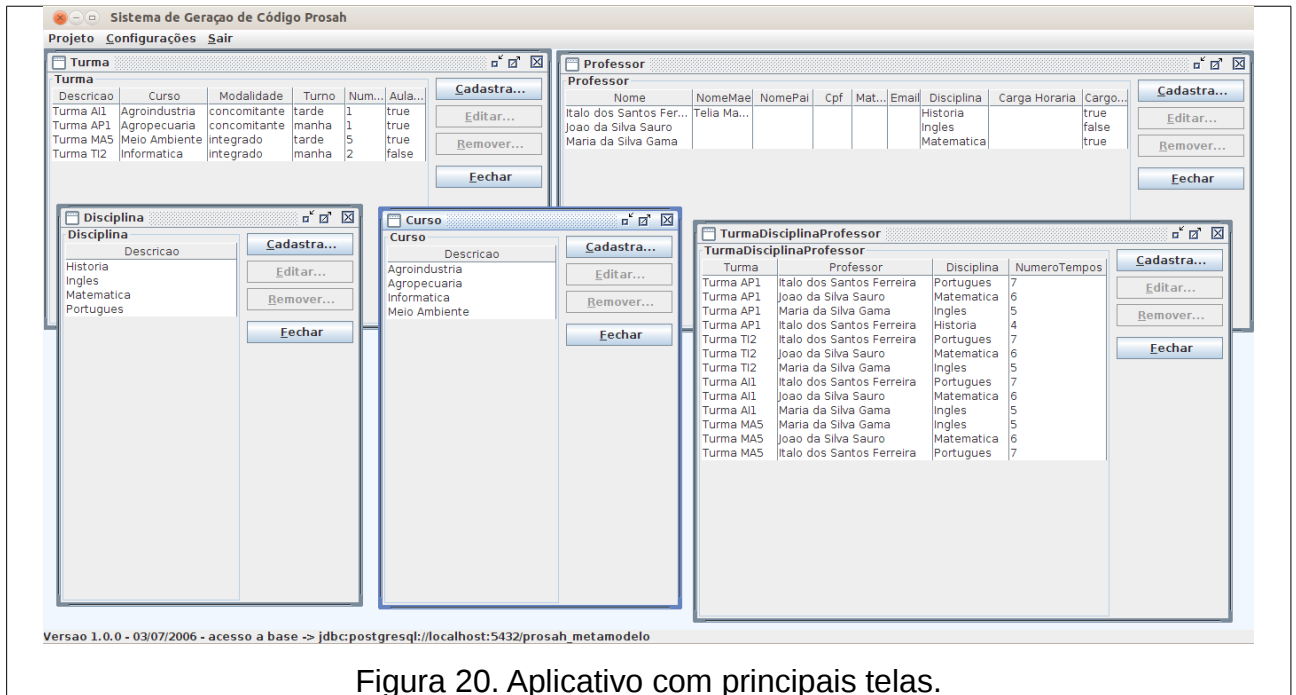


Figura 20. Aplicativo com principais telas.

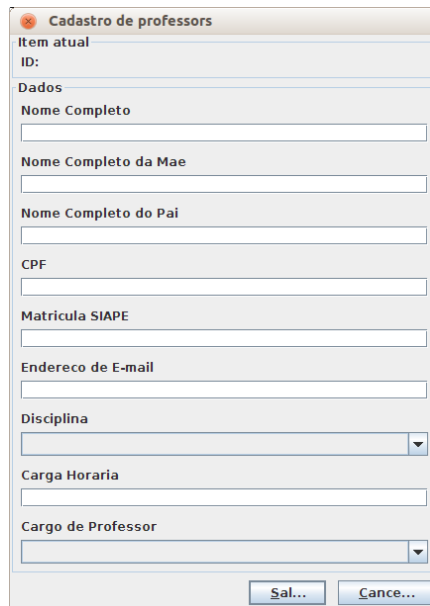
As figuras 21 e 22 mostram as telas de cadastro das entidades Turma e Professor.

The 'Cadastro de turmas' form contains the following fields:

- Item atual
- ID:
- Dados
- Descricao:
- Curso:
- Modalidade:
- Turno:
- Numero Faixa(Numero do Modulo Ou Ano):
- Aula Sabado:

Buttons: Sal... Cance...

Figura 21. Janela de Cadastro de Turmas.



The image shows a software window titled "Cadastro de professores". It contains several input fields and dropdown menus. At the top, there is a section for "Item atual" with an "ID:" label. Below this is a "Dados" section with the following fields: "Nome Completo", "Nome Completo da Mae", "Nome Completo do Pai", "CPF", "Matricula SIAPE", "Endereco de E-mail", "Disciplina" (a dropdown menu), "Carga Horaria", and "Cargo de Professor" (another dropdown menu). At the bottom of the form area are two buttons: "Sal..." and "Cancel...".

Figura 22. Janela de Cadastro de Professores.

A Figura 23 mostra novamente a tela de visualização de registros de Professor e de Turma. Mostra também um cenário de edição de um registro da entidade Turma. As telas de cadastros são as mesmas Telas de Edição. A diferença ocorre quando se seleciona o registro desejado e se pressiona o botão Editar, os dados da entidade selecionada preenchem os campos da tela de cadastro.

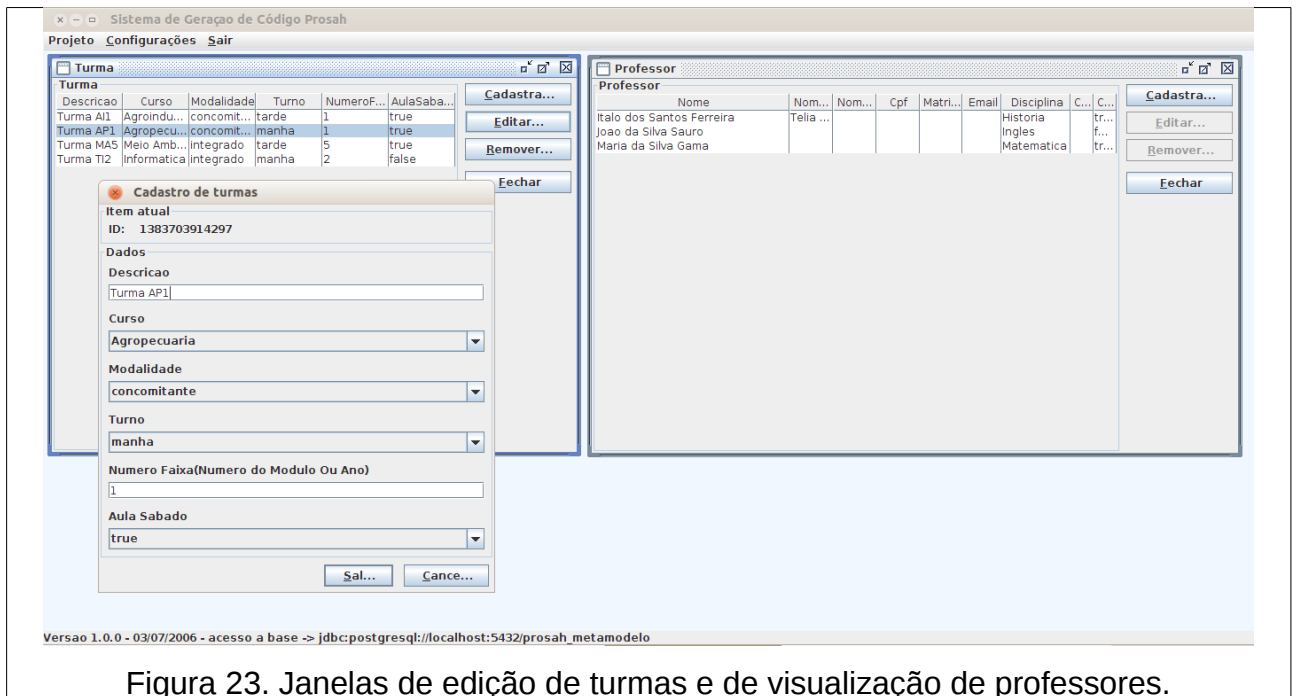


Figura 23. Janelas de edição de turmas e de visualização de professores.

7 EXPERIMENTOS

Para a realização dos experimentos deste trabalho foi utilizada uma máquina com um processador da marca Intel Core i5, utilizando uma memória RAM de 4GB. O sistema foi executado no sistema operacional Linux, distribuição Ubuntu, na sua versão 13.04, 64 bits. Trata-se de uma máquina usual que pode ser adquirida por qualquer escola.

O experimento realizado considerou todas as turmas do instituto até este momento, um total de 25 turmas. Cada heurística proposta foi executada 3 vezes por um período de 24h em cada execução. Na Tabela 8, o campo "Média" representa a média dos melhores resultados obtidos em cada uma das três iterações e o campo "Melhor" mostra o melhor resultado das três iterações.

Conforme a Tabela 8, considerando a coluna "Média", a heurística GRASP3 obteve o melhor resultado, seguida da GRASP1 e da GRASP2 respectivamente. A heurística ILS teve o pior desempenho no que se refere a valor alcançado, tanto na média, quanto no melhor valor encontrado.

Tabela 8. Valores resultantes do experimento.

Heurísticas	Média	Melhor
ILS	116,7	110
GRASP1	93,3	90
GRASP2	106,7	90
GRASP3	80	70

As restrições violadas por cada heurística são mostradas na Tabela 9, a qual contempla apenas as melhores soluções obtidas por cada heurística nas três

iterações. A coluna "Inicial" apresenta as restrições violadas na solução inicial construída. As outras colunas apresentam as restrições violadas por cada heurística proposta.

Como mencionado anteriormente, de acordo com a Tabela 2, as restrições "Colisão de professores na alocação dos tempos", "O professor deve ter um dia livre na semana" e "O professor não pode ministrar aulas em três turnos, apenas em dois" são consideradas fortes. Essas restrições, quando violadas tem o valor 1000 de penalidade.

As restrições "A disponibilidade de tempo dos professores deve ser respeitada", "Determinadas disciplinas não podem ser dadas juntas" e "Algumas disciplinas tem uma lógica de preferência" são consideradas fracas. Quando violadas tem o valor 10 de penalidade.

Tabela 9. Penalidades atingidas pelas heurísticas executadas.

Restrições	Inicial	ILS	GRASP1	GRASP2	GRASP3
Colisão de professores na alocação dos tempos					
O professor deve ter um dia livre na semana					
O professor não pode ministrar aulas em três turnos, apenas em dois	6000				
A disponibilidade de tempo dos professores deve ser respeitada	20	20	10	10	20
Determinadas disciplinas não podem ser dadas juntas	110	30	20	20	10
Algumas disciplinas tem uma lógica de preferencia	200	60	60	60	40
Total	6330	110	90	90	70

O gráfico da Figura 24 destaca o tempo médio necessário para se obter uma determinada solução. Neste gráfico, pode-se perceber que se um tempo menor (abaixo de 4 horas) for dado às heurísticas, há uma tendência maior das heurísticas ILS e GRASP2 obterem um melhor resultado. No entanto, se um tempo maior é

concedido, as heurísticas GRASP1 e GRASP3 tendem a serem melhores - com uma leve superioridade da heurística GRASP3.

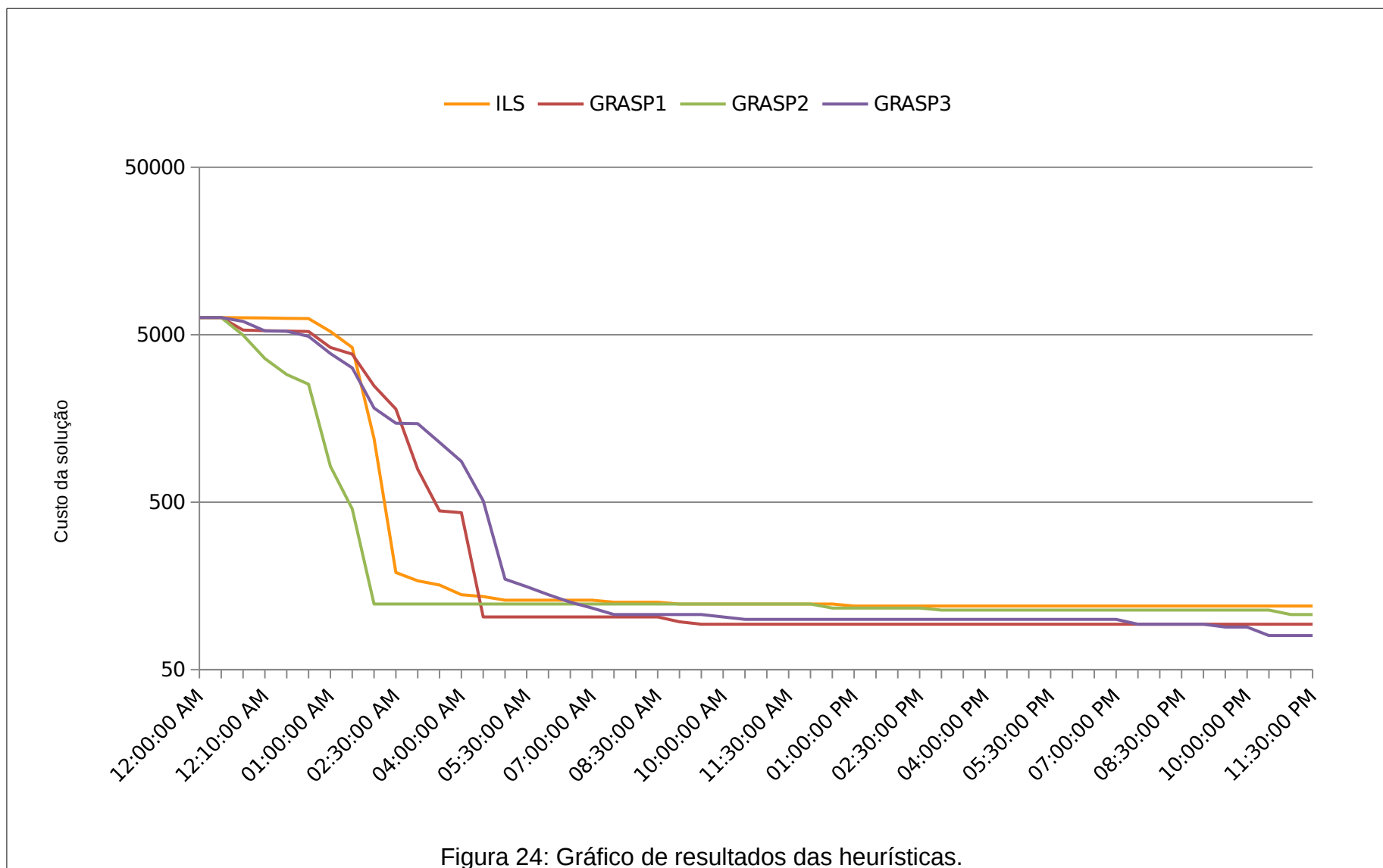


Figura 24: Gráfico de resultados das heurísticas.

A geração do quadro de horário no IFF Bom Jesus costuma levar dias para ser realizada manualmente. Sendo assim, é possível disponibilizar um período de 24 horas, ou um pouco mais, para as heurísticas executarem sem prejuízo no processo. Nesse contexto, a heurística GRASP3 é a mais adequada a ser aplicada no instituto.

Apesar disso, qualquer uma das quatro heurísticas gerará quadros de horários de boa qualidade. Isso acontecerá devido ao fato que em todos os casos, as restrições fortes foram totalmente resolvidas e as restrições fracas foram minimizadas em 60% no mínimo (ver a Tabela 10).

A linha “Valor total inicial” da Tabela 10 mostra o valor total da solução inicial construída. As colunas “Valor” e “Porcentagem resolvida” apresentam respectivamente o valor médio alcançado por cada heurística e a porcentagem de resolução das restrições que ocorreu depois da execução do experimento.

Tabela 10: Aproveitamento das heurísticas na resolução das restrições.

Valor total inicial: 6330		
	Valor	Porcentagem resolvida
ILS	116,7	98,16
GRASP1	93,3	98,53
GRASP2	106,7	98,31
GRASP3	80	98,74

Percebe-se de acordo com a Tabela 10, que em todas as heurísticas executadas, o mínimo de porcentagem de resolução das restrições do problema foi de 98,16%. Isso mostra que todas tiveram um bom aproveitamento.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 CONCLUSÕES

O objetivo principal do trabalho foi alcançado. Foi desenvolvida uma heurística eficiente para a resolução do problema de programação de horários no Instituto Federal Fluminense, campus Bom Jesus do Itabapoana. O desenvolvimento de um aplicativo para a apresentação de relatórios gerados e para trabalhos de inserção, alteração e exclusão de dados de entrada para a heurística proposta também foi concluído.

A bibliometria realizada mostrou verdadeiramente como o problema é discutido atualmente, tanto quanto, como foi discutido na descoberta da problemática de geração de horários escolares. Ela também mostrou como o problema tem sido discutido também aqui no Brasil. Foi submetido e aprovado no XX SIMPEP (Simpósio de engenharia de produção) um artigo onde a bibliometria feita é descrita.

A heurística escolhida, GRASP3, foi superior às outras três concorrentes, trazendo o melhor resultado dentro de 24 horas, tempo que o IFF mencionou como aceitável para a execução da heurística. No entanto, quando um tempo menor é fornecido, ela pode ser superada pelas heurísticas ILS e GRASP2.

Todas as heurísticas testadas em comparação com o método manual foram superiores, já que o tempo gasto manualmente chega a semanas, para que as diversas regras de horário sejam atendidas.

8.2 TRABALHOS FUTUROS

No que se refere a bibliometria relatada no capítulo 3, a relação dos artigos mais referenciados e a sua discussão, não foram abordadas nesse trabalho. A pesquisa sobre artigos GRASP e ILS deste trabalho estão com data posterior a da bibliometria inicial.

Como trabalho futuro, pode-se citar a reconstrução da bibliometria feita, incluindo a pesquisa dos artigos mais referenciados e a pesquisa de artigos GRASP e ILS com a mesma data de consulta.

Com relação a grade de horário, o último tempo da manhã e o último tempo da noite, são diferentes dos demais, contendo apenas 40 minutos. Como trabalho futuro pode-se citar a criação de uma restrição que impede que sejam ministradas disciplinas com apenas um tempo, nesses períodos, alocando nestes, disciplinas com duas ou mais ocorrências adjacentes.

Outras heurísticas tais como: Algoritmo genético, VNS, Busca Tabu, entre outras, também podem ser aplicadas ao problema abordado, objetivando analisar o desempenho e adaptabilidade das mesmas. No sentido de melhorar o desempenho das heurísticas desenvolvidas, técnicas de paralelismo podem ser implementadas na programação do sistema.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPLEBY, J.; BLAKE, D.; NEWMAN, E. Techniques For Producing School Timetables On A Computer And Their Application To Other Scheduling Problems. **Computer Journal**, p.237-45, 1961.

ARULAMPALAM W.; NAYLOR R. A.; SMITH J. Am I missing something? The effects of absence from class on student performance. **Economics of Education Review**, n.31, p.363–375, 2012.

BARBOSA, S. H. D.; SOUZA, S. R. Resolução do problema de programação de cursos universitários baseada em currículos via uma meta-heurística híbrida grasp-ils-relaxado. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional(SBPO)**. 15-18. 2011.

BRITO, S. S., FONSECA, G. H. G., TOFFOLO, T. A. M., SANTOS, H. G., SOUZA, M. J. F. A Sa-Vns Approach For The High School Timetabling Problem. **Electronic Notes In Discrete Mathematics**, 2012.

COSTA, H. G. Modelo para webibliomining: proposta e caso de aplicação. **Revista da FAE**, n.1, p.115-126, jan./jun. 2010.

DE SOUSA, V.N., MORETTI, A.C., DE PODESTÁ, V.A. Programação da grade de horário em escolas de ensino fundamental e médio. **Pesquisa Operacional**, vol.28, no.3, Rio de Janeiro, 2008.

DENG, X.; ZHANG, Y.; KANG, B.; WU, J.; SUN X.; DENG, Y. An Application of Genetic Algorithm for University Course Timetabling Problem. **Chinese Control and Decision Conference (CCDC)**. 2011.

FEN, H. S.; SAFAAI, D.; HASHIM, M. University Course Timetable Planning using Hybrid Particle Swarm Optimization. Shanghai, China. **GEC'09**, June 12–14. 2009.

FEO, T. A.; RESENDE, M. G. C. Greedy randomized adaptive search procedures. **Journal of Global Optimization**, v. 6, p. 109–133. 1995.

FONSECA G. H. G.; TOFFOLO T. A. M.; BRITO S. S.; SANTOS H. G. Técnicas de Busca Local para o Problema da Programação de Horários Escolares. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional(SBPO)**. Rio de Janeiro, Brazil. 24-28 de set, 2012 .

GOERIGK, M.; SCHOEBEL, A. Improving The Modulo Simplex Algorithm For Large-Scale Periodic Timetabling. **Computers & Operations Research**, n.40, p.1363–1370, 2013.

JUNGINGER, W. Experiences In Construction Of Timetables By Computer [Erfahrungen Beim Einsatz Eines Computers Zur Stundenplanerstellung]. **Computing**, p.329-344, 1969.

- KRISTIANSEN, S.; SORENSEN, M.; HEROLD, M. B.; STIDSEN, T. R. The Consultation Timetabling Problem At Danish High Schools. **Journal Of Heuristics**, n.19, p.465–495, 2013.
- LAWRIE, N. L. An Integer Linear Programming Model Of A School Timetabling Problem. **Computer Journal**, p.307-16. 1969.
- LOURENÇO, H. R.; MARTIN, O.; STÜTZLE, T. Iterated Local Search. Glover, F. E Kochenberger, G., editors, **Handbook of Metaheuristics**, p. 321–353. Kluwer Academic Publishers. 2003.
- MOURA, A.V., SCARAFICCI, R.A. A GRASP strategy for a more constrained School Timetabling Problem. **International Journal of Operational Research**, p. 152-170, 2010.
- OLIVEIRA J. G.; VIANNA D. S.; DIANIN M. F. V. Uma heurística GRASP+VND para o problema de programação de horários. **Sistemas & Gestão** 7, p. 326-335, 2012.
- PEREIRA, V. Modelagem linear-inteira e multicritério para a programação de horários em universidades. Tese (Doutorado) – **Universidade Federal Fluminense**, Niteroi, Rio de Janeiro, 2012.
- POST, G.; AHMADI, S.; DASKALAKI, S.; KINGSTON, J. H.; KYNGAS, J.; NURMI, C.; RANSON, D. An Xml Format For Benchmarks In High School Timetabling. **Annals Of Operations Research**. 2012.
- POST G.; AHMADI S.; GEERTSEMA F. Cyclic transfers in school timetabling. **OR Spectrum**, n.34, p.133–154, 2012.
- RESENDE, M. G. C.; RIBEIRO, C. C. Greedy randomized adaptive search procedures. In: GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G., editors, **Handbook of Metaheuristics**, p. 219–249. Kluwer Academic Publishers. 2003.
- SANTOS, H.G., OCHI, L.S., SOUZA, M.J.F. / An efficient tabu search heuristic for the school timetabling problem. **Experimental and Efficient Algorithms**, 2004.
- SANTOS, H.G., UCHOA, E., OCHI, L.S., MACULAN, N. Strong bounds with cut and column generation for class-teacher timetabling. **Annals of Operations Research**, vol.194, p.399-412, Abr. 2012.
- SAVINIEC L.; CONSTANTINO A. A. Applying ILS algorithm with a new neighborhood operator to solve a large benchmark of the high school timetabling problem. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional(SBPO)**. Rio de Janeiro, Brazil. 24-28 de set, 2012 .

SAVINIEC, L.; CONSTANTINO, A. A.; ROMÃO, W.; SANTOS, H. G. Solving the high school timetabling problem to optimality by using ils algorithms. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional(SBPO)**. 16-19 de set. 2013.

SCHAERF, A. A survey of automated timetabling. **Artificial Intelligence Review**, 13(2):87-127. 1999.

SIGULEM, D.M., MORAIS, T.B., CUPPARI, L., FRANCESCHINI, S.C.C., PRIORE, S.E., CAMARGO, K.G., GIMENEZ, R., BERNARDO, V., SIGULEM, D. A web-based distance education course in nutrition in public health: Case study. **Journal of Medical Internet Research**, 2001.

SITIO IFF. <<http://portal.iff.edu.br/campus/bom-jesus>>. Acesso em: 19 de Abril de 2013.

SOUZA M. J. F.; MACULAN N.; OCHI L. S. A GRASP-Tabu Search Algorithm to Solve a School Timetabling Problem. **MIC'2001 - 4th Metaheuristics International Conference**, 2001.

TASSOPOULOS, I. X.; BELIGIANNIS, G. N. A Hybrid Particle Swarm Optimization Based Algorithm For High School Timetabling Problems. **Applied Soft Computing**, n.12, p.3472–3489, 2012.

TRIPATHY, A. Computerized decision aid for timetabling - a case analysis. **Discrete Applied Mathematics**, n.35 p.313-323. 1992.

APÊNDICE A – PLANILHA COM AS RESTRIÇÕES PROPOSTAS E ESCOLHIDAS

LEGENDA		
Restrição Fraca Considerada no Campus.	Restrição Forte Considerada no Campus.	Restrição não considerada no Campus

Num.	Regra	Essa regra é considerada na criação de um horário? (Sim/Não)	Essa regra pode ser quebrada sem prejudicar a criação do horário? (Sim/Não)	Observação
1	A capacidade das salas deve ser respeitada.	Não	-	Casos raros. Ex.: Necessidade de uso de ar condicionado.
2	A carga horária de cada professor deve ser respeitada.	Sim	Fraca	Pode acontecer em casos de falta de professor; Gera um horário novo.
3	A carga horária total de um professor não pode ser ultrapassada.	Sim	Fraca	Já extrapolou por falta de professor: português e matemática. Retirada. Não tem por que testá-la, se não existe a possibilidade de resolvê-la
4	A disponibilidade de tempo dos professores deve ser respeitada.	Sim	Fraca	O mesmo que a 20, a diferença é que aqui escolhe a folga preferencial e não o dia preferencial. Avaliada na função de avaliação.
5	A disponibilidade de tempo dos professores deverá ser respeitada ao máximo.	Não	-	Caso aconteça algo, não vai poder ser respeitado. Ex.: Novos Cursos.
6	A duração dos tempos de aula devem respeitar as exigências dos professores.	Não	-	-
7	A grade deve obedecer ao máximo às preferências dos alunos.	Não	-	-
8	A grade deverá contemplar os intervalos de almoço.	Sim	Forte	Inserida diretamente no construtivo. Deixando desabilitado o sexto tempo

				da turma referida.
9	A preferência do professor em relação sequência de aulas deve ser respeitada.	Sim	Fraca	Quando possível; Raros os casos.
10	Algumas disciplinas devem ser oferecidas no mesmo dia do que outras disciplinas.	Não	-	-
11	Algumas disciplinas não devem ser oferecidas no mesmo dia do que outras disciplinas.	Sim	Fraca	Ex.: Preferencialmente não pode ter física e matemática no mesmo turno. Avaliada na função de avaliação. Entidade DisciplinaPrioridade do aplicativo.
12	Algumas disciplinas requerem salas especiais.	Sim	Fraca	Informática(Laboratórios).
13	Alunos mais antigos devem ter horários preferenciais.	Não	-	-
14	Alunos matriculados em um determinado turno não poderão assistir as disciplinas de outro turno.	Não	-	Se acontecer no concomitante é de forma informal.
15	As cargas horárias das disciplinas devem ser respeitadas.	Sim	Forte	Avaliada no algoritmo construtivo.
16	As disciplinas devem obedecer a uma lógica de precedência(preferência).	Sim	Fraca	Na agropecuária, as de campo vem primeiro; Agropecuária pela manhã e Agroindústria a tarde. Avaliada na função de avaliação.
17	As disponibilidades de horários dos professores devem ser respeitadas.	Sim	Fraca	Idem a regra 4.
18	As grades de horários dos alunos devem conter o máximo possível de disciplinas preferenciais.	Não	-	-
19	As preferências de horários para algumas turmas devem ser respeitadas.	Não	-	-
20	As preferências de horários para alguns professores devem ser respeitadas.	Não	Fraca	Professores que fazem mestrado por exemplo, podem ter horários facilitados.
21	As preferências dos professores e alunos sobre os tempos disponíveis para alocação devem ser levadas	Não	Fraca	Na criação dos horários, algumas aulas são alocadas antes, pela preferência do

	em consideração.			aluno ou do professor.
22	As preferências pelas salas de aula devem ser respeitadas ao máximo.	Não	-	-
23	As salas devem ser ocupadas ao máximo.	Não	-	-
24	As salas devem ter disponibilidade.	Não	-	-
25	As salas exigidas para se ministrar aulas devem ser respeitadas.	Não	-	-
26	As sextas-feiras à tarde devem permanecer livres.	Não	-	-
27	Cada aluno deve ser matriculado no máximo de disciplinas que ele / ela solicitou.	Não	-	-
28	Cada grupo de disciplinas deve ser ligado a um grupo de tempo, evitando assim colisões com outros grupos de disciplinas.	Não	Fraca	-
29	Cada professor deve ser alocado no mínimo para uma disciplina.	Não	-	-
30	Cada professor deve ser associado a um conjunto específico de disciplinas.	Sim	Forte	O caso de restrição e para universidades.
31	Cada professor não pode ministrar duas disciplinas no mesmo dia.	Não	-	-
32	Cada turma precisa ter uma aula isolada em qualquer dia.	Não	-	-
33	Certas disciplinas devem ser oferecidas ao mesmo tempo.	Não	-	-
34	Certas disciplinas precisam seguir uma sequência lógica de horários.	Não	-	-
35	Colisões de disponibilidade de horários dos professores não são permitidas.	Sim	Fraca	-
36	Colisões de horários de professores não são permitidas.	Sim	Forte	Avaliada no algoritmo construtivo e na função de avaliação.
37	Colisões de horários dos professores não são permitidas e a distância percorrida para ir de uma aula a outra deve ser a menor possível.	Não	-	-
38	Colisões entre disciplinas não são permitidas.	Não	-	Dois professores estão dando aulas de matemática.

39	Colisões entre salas de aula não são permitidas.	Não	-	-
40	De preferência, um único professor não deve ensinar a mesma disciplina a cada mandato, exceto se ele é o único representante da área específica no departamento.	Não	-	-
41	Dentro de cada grupo de disciplinas, colisões devem ser evitadas.	Não	-	-
42	Deve haver intervalos de tempo entre as disciplinas.	Não	-	-
43	Deve haver um intervalo de pelo menos um dia entre duas aulas de uma mesma disciplina.	Não	-	-
44	Disciplinas especiais só podem ser ministradas em salas especiais.	Não	-	-
45	Disciplinas que dependem de salas especiais não podem ser ministradas em salas comuns.	Não	-	-
46	Disciplinas que possuem duas horas de duração não podem ser divididas em mais de um tempo.	Não	-	-
47	Disciplinas que precisem de mais de uma aula por semana não podem ser dadas em horários consecutivos e nem em dias consecutivos.	Não	-	-
48	Dois aulas seguidas de uma mesma disciplina não podem ser ministradas em um mesmo dia.	Não	-	-
49	Durante um período uma turma deve ter apenas uma sala de aula.	Não	-	-
50	Folgas nos horários devem seguir a preferência da administração.	Não	-	-
51	Intervalos entre disciplinas não podem ser longos.	Não	-	-
52	Nenhum professor deve ministrar aulas por mais de duas horas contínuas.	Não	-	-
53	Nenhum professor deve ministrar duas aulas consecutivas.	Não	-	-
54	Nenhum professor pode ministrar três disciplinas consecutivamente.	Não	-	-
55	Nenhum professor deve ser alocada	Não	-	-

	no período da noite.			
56	Nenhuma turma pode ter duas aulas seguidas.	Não	-	-
57	O horário deve ser o mais compacto possível.	Não	-	-
58	O horário planejado de um aluno deve ser respeitado.	Não	-	-
59	O número de disciplinas oferecidas depende da demanda dos alunos.	Não	-	-
60	O número de professores e salas deve ser suficiente para atender a alocação.	Não	-	-
61	O número total de disciplinas não deve ultrapassar a carga horária disponível de cada professor.	Sim	Fraca	Com um peso maior se acontecer.
62	O professor decide se duas disciplinas suas podem ser ministradas consecutivamente.	Não	-	-
63	O terceiro e quarto período de tempo não podem ser ocupados em certos dias da semana.	Não	-	-
64	Os alunos devem, de preferência, permanecer nas turmas que escolherem.	Não	-	-
65	Os alunos não devem assistir aulas por mais de quatro horas seguidas.	Não	-	-
66	Os alunos repetentes só poderão cursar as disciplinas do seu período e anteriores, se possível.	Não	-	-
67	Os alunos só poderão cursar as disciplinas do seu período.	Não	-	-
68	Os cursos de um mesmo período não podem colidir e um professor não pode estar em dois lugares diferentes ao mesmo tempo.	Não	-	-
69	Os professores devem ter as suas exigências satisfeitas, o máximo possível.	Não	-	-
70	Os professores devem ter um dia livre.	Sim	Forte	Regra Institucional. Avaliada na função de avaliação.
71	Os tempos de aula devem respeitar o tempo de duração de cada disciplina.	Não	-	-

72	Os tempos de aula devem ter um limite máximo.	Sim	Forte	Pode até descartar pois é óbvio.
73	Os tempos de aula e as salas designadas para as aulas das disciplinas devem ser selecionados a partir de conjuntos de tempo e espaço disponíveis.	Não	-	-
74	Os tempos de aula não devem ser extensos.	Não	-	-
75	Os tempos de duração das aulas são determinados pelos professores.	Não	-	-
76	Os tempos preferenciais, a disponibilidade de prédios, salas e equipamentos devem ser respeitadas.	Não	-	-
77	Para cada professor, há um número mínimo e máximo de aulas.	Sim	Fraca	Referente a carga horária.
78	Para professores preferenciais, suas demandas devem ser consideradas antes.	Não	-	-
79	Professores não devem ministrar aulas por mais de três horas seguidas.	Não	-	-
80	Sequências de disciplinas devem ser respeitadas.	Não	-	-
81	Todas as disciplinas planejadas para um determinado semestre devem ser oferecidas.	Não	-	-
82	Trocas de sala deverão ser evitadas.	Não	-	-
83	Um aluno deve cursar todas as disciplinas do seu período.	Não	-	-
84	Um aluno deve permanecer na sua turma o máximo possível.	Não	-	-
85	Um aluno deve ser matriculado, no mínimo, em uma disciplina.	Não	-	-
86	Um aluno não poderá assistir mais do que três disciplinas em um único dia.	Não	-	-
87	O professor não pode dar aula em três turnos num dia	Sim	Forte	Lei! Avaliada na função de avaliação.
88	Um grupo de disciplinas deve obedecer a tempos de aula pré-	Não	-	-

	estabelecidos.			
89	Um professor deve ter sua carga horária totalmente preenchida.	Não	-	-
90	Um professor pode ser alocado e desalocado de certo tempo disponível, de acordo com alguma decisão institucional.	Sim	Fraca	Em função da falta de professor; acontece com frequência.
91	Uma disciplina não deve ser agendada à noite, a fim de melhorar a eficácia do ensino.	Não	-	-
92	Uma disciplina não deve ser ministrada em dias consecutivos.	Não	-	-
93	Uma disciplina não deve ser ministrada por mais de duas horas seguidas.	Não	-	-
94	Uma turma não deve ter apenas uma disciplina por dia.	Não	-	-
95	Uma turma não pode ser maior do que a capacidade da sala utilizada e também não pode ser utilizada por duas disciplinas ao mesmo tempo.	Não	-	-